



Lernen mit neuen Technologien : die Rolle der Gegenständlichkeit und Multicodierung von Informationen für die Entwicklung von Fachwissen, praktischer Kompetenz, mentalen Modellen und Problemlösestrategien

Grund, Sven

Abstract: Die Studie beschäftigt sich mit der folgenden Forschungsfrage: Welche Auswirkungen hat Multicodalität in Form verschiedener Symbolsysteme (Bilder, Text) und Multimodalität in Form verschiedener Handlungsarten und Gegenständlichkeiten (real- gegenständlich/mausvermittelt/ kombiniert) auf die Entwicklung von Fachwissen, praktischem Problemlösen, mentalen Modellen und Problemlösestrategien in der technischen Berufsausbildung? In einem quasi-experimentellen Design wurden vier Gruppen jeweils 16 Stunden in Pneumatik unterrichtet. Je eine Gruppe arbeitete mit realen Komponenten, der Simulationssoftware FluidSim, dem Lernsystem CLEAR (Constructive Learning Environment) oder diente als Kontrollgruppe. Die Daten von 54 Schülern flossen in die Auswertung ein. Die Studie zeigt, dass unterschiedlicher Lernoutput (Fachwissen, symbolbasierte/ praktische Fehlersuche, Schaltungskonstruktion) stark von einem personenbezogenen Merkmal (physikalisch-technisches Problemverständnis) beeinflusst wird. Die in der praktischen Fehlersuche verwendeten Problemlösestrategien sind lernmedienunabhängig. Da insbesondere schlechte Schüler mit geringen kognitiven Fähigkeiten und Fachwissen eine ineffiziente Trial Error-Strategie verfolgten, sollte ein Strategietraining im Unterricht eingeführt werden. Im Zusammenhang mit praktischen Aufgaben ist die Vollständigkeit des mentalen Modells leistungsrelevant. Die Bildung korrekter mentaler Modelle sollte im Unterricht mit Visualisierungstools gefördert werden. Lernmedien wirken sich eher qualitativ auf die Art der Wissensrepräsentation und die Erklärungsstrukturen aus. Ausserdem ergeben sich medienspezifische Komponentenschwierigkeiten. This study deals with the question "Which influence has multi-codality based on different symbol systems (picture, text) and multi-modality based on different action types and concreteness (real/ mouse mediated/combined) on factual knowledge, practical problem solving, mental models and problem solving strategies in vocational training?" In a quasi-experimental design four groups were trained 16 hours in pneumatics. One group worked with real components, simulation software FluidSim, CLEAR (Constructive Learning Environment) and one served as control group. 54 students participated. The results showed, that different learning outputs (factual knowledge, symbol based/practical fault finding and construction) are strongly influenced by a personal factor (technical understanding). The applied problem solving strategies in the practical fault finding are learning media independent. Students with less factual knowledge and technical understanding mainly used ineffective trial and error strategies. To support these students a problem solving strategy training is indicated. In the context of the practical fault finding task correct mental models were relevant for achieved performance. They could be fostered by using visualization tools in training. Learning technologies affect more qualitative aspects such as mental representation or explanation structure in learning and lead to specific component problems.

Dissertation
Published Version

Originally published at:

Grund, Sven. Lernen mit neuen Technologien : die Rolle der Gegenständlichkeit und Multicodierung von Informationen für die Entwicklung von Fachwissen, praktischer Kompetenz, mentalen Modellen und Problemlösestrategien. 2004, University of Zurich, Faculty of Arts.

Lernen mit neuen Technologien

Die Rolle der Gegenständlichkeit und Multicodierung von
Informationen für die Entwicklung von Fachwissen, praktischer
Kompetenz, mentalen Modellen und Problemlösestrategien

Abhandlung
zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultät der
Universität Zürich

vorgelegt von
Sven Grund
von Deutschland

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Gudela Grote und von Prof. Dr. René Hirsig

Zentralstelle der Studentenschaft der Universität Zürich
Zürich, 2004

Adresse des Autors:

Sven Grund

Institut für Arbeitspsychologie

Eidgenössische Technische Hochschule (ETH)

Nelkenstrasse 11, CH-8092 Zürich

E-Mail: grund@ifap.bepr.ethz.ch

© Sven Grund, 2004

Dank

Die Arbeit ist im Rahmen des Europäischen Forschungsprojektes BREVIE entstanden. Es waren neun Partner (Universität Bremen, ETH Zürich, Schulzentrum Im Holter Feld, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Stockport College, Friese Poort, FESTO Didaktik, Superscape, Virtual Presence) an diesem Projekt beteiligt. Die Forschung und Entwicklung konzentrierte sich dabei auf die drei Schwerpunkte: (1) Entwicklung einer neuen Mensch-Maschine-Schnittstelle, (2) Einsatz einer solchen neuen Mensch-Maschine-Schnittstelle in realem Ausbildungsunterricht von Polymechanikern, (3) Untersuchung der Auswirkungen von multimodal und multicodal vermittelten Lerninhalten auf Fachwissen, praktische Kompetenz, mentale Modelle und Problemlösestrategien. Die Zusammenarbeit mit Entwicklern, Lehrern, Schülern und den Industriepartnern war eine lehrreiche und von vielen Inspirationen gekennzeichnete Zeit. Dem gesamten Projektteam, ohne das die Untersuchung nicht möglich gewesen wäre, sei an dieser Stelle ganz herzlich gedankt. Im Speziellen bedanke ich mich bei Volker Brauer, dessen Einsatz es ermöglichte, einen Abschnitt der Studie zu wiederholen und somit eine gute Datenbasis für die Beantwortung meiner Forschungsfrage zu gewährleisten.

Mein besonderer Dank für die Betreuung der Dissertation gilt Prof. Dr. Gudela Grote, die mich immer wieder mit neuen wissenschaftlichen Problemstellungen konfrontierte. Die hohe Eigenständigkeit bei der Problembearbeitung war eine konstruktiv-entwicklungsfördernde Herausforderung. In schwierigen Momenten stand sie stets mit Rat und Tat zur Seite. Prof. Dr. René Hirsig sei gedankt für seine methodischen und inhaltlichen Kommentare, die eine Präzisierung forschungsrelevanter Aspekte zur Folge hatten.

Bezüglich des Korrekturlesens bedanke ich mich bei Anna Hersperger für ihr Auge für Strukturen und kleine Ungereimtheiten, meinem Freund Michael Hess, der mich zu tiefen inhaltlichen Auseinandersetzungen anregte und bei Thomas Wengi für seine Impulse zu mehr sprachlicher Klarheit.

Von unschätzbarem Wert war die Unterstützung meiner Freundin Martina Hersperger, die unermüdlich beim Korrekturlesen half und jedes Hoch und Tief mit mir durchschritten hat.

Zürich, im Januar 2004

Sven Grund

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Theorie.....	5
1.1 Einführung in Lernen	5
1.2 Gegenständlichkeit.....	8
1.3 Explizites Lernen	10
1.4 Implizites Lernen	17
1.5 Problemlösestrategien und mentale Modelle	20
2 Lernmedienforschung.....	29
2.1 State of the Art	29
2.2 Evaluierte Lerntechnologien	34
3 Forschungshypothesen.....	39
4 Methoden.....	41
4.1 Untersuchungsdesign	41
4.1.1 Design	41
4.1.2 Lernmedienbeschreibung	44
4.1.2.1 Reale Komponenten.....	45
4.1.2.2 FluidSim-Software	46
4.1.2.3 CLEAR	49
4.1.2.4 Zusammenfassung der wesentlichen Medienunterschiede.....	50
4.1.3 Unterrichtsgestaltung und technische Berufsausbildung.....	51
4.2 Instrumente	56
4.2.1 Kognitive Fähigkeitstests	56
4.2.1.1 Räumliches Vorstellungsvermögen	56
4.2.1.2 Logisches Denken.....	56
4.2.1.3 Physikalisch-technisches Problemlösen.....	57
4.2.2 Theoretischer Fachwissenstest	57

4.2.3	<i>Praktische Tests</i>	57
4.2.3.1	Praktische Fehlersuche.....	58
4.2.3.1.1	Arbeitsprotokoll	59
4.2.3.1.2	Zeichnung	59
4.2.3.2	Symbolbasierte Fehlersuche	60
4.2.3.3	Konstruktionsaufgabe	61
4.2.4	<i>Interviewleitfaden</i>	62
4.2.5	<i>Erfassen der mentalen Modelle</i>	64
4.2.5.1	Repräsentationsformat	67
4.2.5.2	Erklärungsstrukturen.....	68
4.2.5.3	Art der mentalen Modelle	70
4.2.5.4	Simulation.....	71
4.2.5.5	Aufgabenformatsschwierigkeiten	72
4.2.5.6	Simulationsschwierigkeiten	72
4.2.5.7	Komponentenschwierigkeiten.....	73
4.2.5.8	Unterstützung.....	73
4.2.5.9	Analogien.....	74
4.2.6	<i>Verhaltensprotokoll</i>	75
4.2.7	<i>Problemlösestrategien</i>	77
4.2.7.1	Trial & Error-Strategie.....	79
4.2.7.2	Symptomatische Strategie.....	80
4.2.7.3	Schrittweise Strategie.....	82
5	Vorstudie	85
5.1	Stichprobe	86
5.1.1	<i>Kognitive Fähigkeiten</i>	87
5.1.2	<i>Pneumatisches Vorwissen</i>	88
5.1.3	<i>Motivation</i>	88
5.2	Ergebnisse der Vorstudie	89
5.3	Zusammenfassung.....	91
5.4	Massnahmen für die Hauptstudie.....	91
6	Hauptstudie	95
6.1	Durchführung.....	95
6.2	Datenqualität	98
6.3	Stichprobe	100
6.3.1	<i>Kognitive Fähigkeiten</i>	101
6.3.2	<i>Pneumatisches Vorwissen</i>	102

6.3.3	<i>Motivation</i>	103
6.4	Zusammenfassung	104
7	Ergebnisse der Hauptstudie	105
7.1	Theoretisches Fachwissen	105
7.2	Praktische Kompetenz	107
7.2.1	<i>Praktische Fehlersuche</i>	107
7.2.2	<i>Arbeitsprotokoll</i>	109
7.2.3	<i>Symbolbasierte Fehlersuche</i>	111
7.2.4	<i>Konstruktionsaufgabe</i>	114
7.3	Zusammenfassung	116
7.4	Mentale Modelle	118
7.4.1	<i>Praktische Fehlersuche</i>	118
7.4.1.1	Repräsentationsformat	118
7.4.1.2	Erklärungsstrukturen	118
7.4.1.3	Art der mentalen Modelle	120
7.4.1.4	Simulation	120
7.4.1.5	Aufgabenformatsschwierigkeiten	121
7.4.1.6	Simulationsschwierigkeiten	121
7.4.1.7	Komponentenschwierigkeiten	121
7.4.1.8	Unterstützung	122
7.4.1.9	Analogien	122
7.4.1.10	Güte der mentalen Modelle	123
7.4.2	<i>Symbolbasierte Fehlersuche</i>	125
7.4.2.1	Repräsentationsformat	125
7.4.2.2	Erklärungsstruktur	125
7.4.2.3	Art der mentalen Modelle	127
7.4.2.4	Simulationen	127
7.4.2.5	Aufgabenformatsschwierigkeiten	128
7.4.2.6	Simulationsschwierigkeiten	128
7.4.2.7	Komponentenschwierigkeiten	128
7.4.2.8	Unterstützung	129
7.4.2.9	Analogien	129
7.4.3	<i>Zusammenfassung</i>	129
7.5	Problemlösestrategien	131
7.5.1	<i>Praktische Fehlersuche</i>	131
7.5.2	<i>Symbolbasierte Fehlersuche</i>	138
7.5.3	<i>Zusammenfassung</i>	139

8	Diskussion	141
8.1	Design	141
8.2	Sprache.....	143
8.3	Stichprobe	144
8.4	Fachwissensentwicklung.....	145
8.5	Praktische Fehlersuche.....	147
8.6	Symbolbasierte Fehlersuche	149
8.7	Konstruktionsaufgabe	151
8.8	Mentale Modelle	152
8.9	Problemlösestrategien	154
8.10	Kognitive Fähigkeiten.....	154
8.11	Integrierende Betrachtungen.....	155
9	Zusammenfassung.....	161
10	Literatur	165
	Anhang	179
Anhang A:	Theorietest.....	179
Anhang B:	Praktische Fehlersuche.....	188
Anhang C:	Arbeitsblatt für die praktische Fehlersuche	189
Anhang D:	Zeichnung	190
Anhang E:	Beobachtungsprotokoll für die praktische Fehlersuche	191
Anhang F:	Symbolbasierte Fehlersuche	192
Anhang G:	Lösung der symbolbasierten Fehlersuche	194
Anhang H:	Konstruktionsaufgabe	195
Anhang I:	Arbeitsmaterial für die Konstruktionsaufgabe.....	197
Anhang J:	Lösung der Konstruktionsaufgabe	198
Anhang K:	Vortest.....	199

Einleitung

In den letzten Jahrzehnten haben die Informations- und Kommunikationstechnologien (IK) eine immer grössere Verbreitung erfahren. Insbesondere im Gebiet von Training, Berufsausbildung und Studium sind die Lerntechnologien als Untergruppe der IK-Technologien nicht mehr wegzudenken. Dabei wurden unterschiedlichste Trainingsprogramme in Form von CBT (Computer Based Training) oder WBT (Web Based Training) entwickelt (Weinert, 1996). Immer häufiger kommen darin Simulatoren zum Einsatz, die es ermöglichen, der „Realität“ näher zu kommen. Simulatoren stellen eine gewisse Interaktivität zwischen System und Nutzer her, in dem sie das Systemverhalten aufgrund via Maus, Tastatur oder Joystick eingegebener Parameter jeweils aktuell berechnen. Es gibt Flug-, Fahr-, Wirtschafts-, Kraftwerkssimulationen etc., mit denen sensomotorischen Fertigkeiten (z. B. Autofahren), spezifische Kompetenzen (z. B. technische Systemkenntnis) und allgemeine intellektuelle Fähigkeiten (z. B. Problemlösen) entwickelt werden können.

Die Gründe für die Verwendung von computerbasierten Lernsystemen mit Simulationen werden auf der Lern-, Sicherheits-, Wirtschafts- und Marketingebene gesehen. In Bezug auf die Lernebene ermöglichen Simulatoren ein relativ realitätsnahes Training mit unmittelbarem Feedback für den Lernenden. Es lassen sich kritische oder unklare Situationen wiederholt üben. Uneinsichtige Prozesse (z. B. im Brennraum eines Motors) können sichtbar gemacht werden (Sickel, 2001). Simulationen ermöglichen kooperatives und verteiltes Lernen in interdisziplinären Teams. Die Multicodierung von Informationen durch die Kombination von Diagrammen, Zeichnungen, Texten, Videos und Simulationen (z. B. in einem CBT) sollen den Lernprozess fördern und zu mehr Wissen in weniger Lernzeit führen als das Arbeiten mit herkömmlichen Verfahren (z. B. mit Papier und Bleistift im klassischen Unterricht) (Kulik & Kulik, 1991). Fehlhandlungen führen zu keinen fatalen Folgen (z. B. bei Chemieanlagenimulationen oder CNC Maschinen-simulationen) (Sicherheitsebene). Simulatoren ermöglichen die Einsparung (Wirtschaftsebene) von Kosten (z. B. Ersatz der Flug- oder Fahrstunden) und die Möglichkeit, mit vielen Schülern gleichzeitig ein Training durchzuführen (Kerres, 2001). Zusätzlich gehört es zum Image jeder Ausbildungsinstitution, möglichst die aktuellsten Trainingstools zu

verwenden (Marketingebene), auch wenn deren besonderer Nutzen (z. B. Lernerfolg) nicht unbedingt erwiesen ist (Kerres, 2001).

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit der Lernebene, da sich mit zunehmender Nutzung von IK-Technologien für die Unterstützung von Lernprozessen unter anderem die Frage nach der *Bedeutung* und *Ersetzbarkeit real-gegenständlicher Erfahrungen* durch mausvermittelte computerbasierte Simulationen für den Lernoutput stellt, wie dies im Produktionskontext durch die Automatisierung bereits in den letzten beiden Jahrzehnten (Böhle & Milkau, 1998) geschehen ist.

Unter Bezug auf Entwicklungstheorien (z. B. Piaget, 1991), wie auch auf allgemeine Tätigkeitstheorien (Leontjew, 1977; Galperin, 1980; Hacker, 1998a), werden neue computerbasierte Lernmedien mit Simulatoren kritisiert, da der Zusammenhang zu realen Gegenständen (z. B. Werkstücken) und damit die Möglichkeit des Lernens durch Be-Greifen immer mehr verloren zu gehen droht. Die Bedeutung des aktiven Be-Greifens (Gibson, 1963) für Erkennungsprozesse wurde schon relativ früh empirisch belegt. Auch Richardson, Ainsley, Copsey und Watkins (1980, zit. nach Engelkamp, 1991) konnten für das Berühren und Betasten von Objekten im Gegensatz zur blossen Wahrnehmung der Objekte eine bessere Erinnerungsleistung nachweisen. Die real-gegenständliche Erfahrung wird in der Simulation durch mausvermittelte computerbasierte Erfahrungen ersetzt. Gerade die real-gegenständliche Erfahrung spielt bis heute in vielen Ausbildungsberufen (z. B. Polymechaniker, Mechatroniker) eine zentrale Rolle, die von den Ausbildungsbetrieben wahrgenommen wird. Welche Auswirkungen die verstärkte Ausbildung von technischen Berufen an Computern hat und inwieweit sich real-gegenständliche Erfahrung ersetzen lässt, ist bisher noch nicht hinreichend geklärt.

Gleichzeitig ergibt sich mit der rasanten Entwicklung von IK-Technologien auch eine immense Erweiterung des Erfahrbaren, wenn reale und virtuelle Welten miteinander verknüpft werden (Bruns, 1997). Insbesondere in praktischen Berufen wie Medizin, Ingenieurwesen und technischen Berufsausbildungen wird die Bedeutung von haptischem Feedback (Stone, 1997, 2000) und gegenständlichen Benutzerschnittstellen (Brauer, 1999) für das Lernen intensiv diskutiert und in neuen Lern- und Interaktionstechnologien umgesetzt.

Insgesamt gilt es zu konstatieren, dass sich die empirische Befundlage für multimedial unterstützte Lernprozesse und Lerneffekte auf Wissensgenerierung und Problemlösen in vielen Fällen nur auf Laborforschung und kurze Lernsequenzen bezieht. Die Übertragbarkeit der Resultate auf reale Ausbildungssettings mit Multimediatools, im Sinne

der ökologischen Validität, ist darum als kritisch zu beurteilen. Der raschen technologiegetriebenen Lernmedienentwicklung und deren Begründungsmustern (schneller, besser, zeit- und ortsunabhängig zu lernen) stehen sehr wenige empirische Untersuchungen gegenüber, obwohl z. B. im fünften IST Rahmenprogramm der EU im Bereich „Action Line III.3.3: Advanced Training Systems“ explizit gefordert wird: „The work is expected to provide evidence of improved learning processes and associated benefits, for just-in-time training and lifelong learning in general, for individuals and corporations“ (siehe für weitere Informationen: <http://www.cordis.lu/ist>).

Sowohl die heutigen technischen Möglichkeiten als auch die fehlende empirische Multimediaforschungsbefundlage für gegenständliche Benutzerschnittstellen und Lernprozesse sind zentrale Gründe für den Autor dieser Dissertation, sich intensiv mit den komplexen Auswirkungen einer neuen virtuell-gegenständlichen Lernumgebung CLEAR (**C**onstructive **L**earning **E**nvironment) auf verschiedene Lernoutputs zu beschäftigen.

CLEAR wurde im Europäischen Forschungsprojekt BREVIE mit neun Partnern (drei Industriepartner, zwei Universitäten und vier Schulen) aus vier Ländern (England, Deutschland, Holland, Portugal) entwickelt. Dabei wurde ein Forschungsdesign realisiert, das der Mehrdimensionalität des Lernens (charakterisiert durch das Zusammenwirken von angesprochenen Sinnesmodalitäten, verwendeten Codierungsformaten, Handlungsarten und Feedback innerhalb einer Lernplattform) unter Berücksichtigung von Persönlichkeitsmerkmalen und der didaktischen Umsetzung von Lerninhalten für die Entwicklung von technischem Systemverständnis gerecht wird.

Die zentrale Frage lautet:

Welche *Auswirkungen* hat Multicodalität in Form verschiedener *Symbolsysteme* (Bilder, Zeichnungen, Texte etc.) und Multimodalität in Form verschiedener *Handlungsarten* und *Gegenständlichkeiten* (real-gegenständlich/mausvermittelt/kombiniert) auf die Entwicklung von Fachwissen, praktischem Problemlösen, mentalen Modellen und Problemlösestrategien?

Der Forschungsfokus liegt in der Messung von Auswirkungen spezifischer Merkmale unterschiedlicher Lerntools. Dafür wurde ein quasi-experimentelles Design mit vier Gruppen entwickelt. Je eine Gruppe arbeitete mit realen Komponenten, der Simulationssoftware FluidSim, dem Lernsystem CLEAR oder diente als Kontrollgruppe. Die Schüler nahmen an einem 16-stündigen Pneumatikkurs teil, absolvierten am Anfang verschiedene kognitive Tests und füllten einen Motivationsfragebogen und Vorwissenstest aus. Als Basis für Rückschlüsse auf abgelaufene Lernprozesse beim Arbeiten mit neuen

Multimedialerntools wurden die Fachwissensentwicklung in einem Test, die praktische Kompetenz mittels praktischen Fehlersuchaufgaben, die mentalen Modelle mit Hilfe von Interviews und die Problemlösestrategien mittels Verhaltensbeobachtungen und Interviews erfasst.

Die Arbeit erhebt nicht den Anspruch, eine neue Theorie zu entwickeln, sondern plausible Brücken zwischen Teiltheorien in der Psychologie zu schlagen, um neue Einsichten im Gebiet des Lernens mit Multimedia, insbesondere bezüglich der Bedeutung von Gegenständlichkeit und Multicodierung, zu gewinnen.

Der Aufbau der Dissertation gliedert sich in folgende Kapitel:

Kapitel 1 stellt die theoretischen Grundlagen bezüglich Lernen, Gedächtnis und Problemlösen im Kontext von Lernen mit neuen Medien vor. Kapitel 2 behandelt die Lernmedienforschung und ihre zentralen Ergebnisse. Kapitel 3 präsentiert die Forschungshypothesen. In Kapitel 4 wird das quasi-experimentelle Forschungsdesign vorgestellt. Anschliessend erfolgt eine detaillierte Beschreibung der eingesetzten Lernumgebungen mit ihren spezifischen Merkmalen. Das Kapitel 5 präsentiert die Vorstudie und die abgeleiteten Massnahmen für die darauf folgende Hauptstudie. In Kapitel 6 erfolgt die Darstellung der Hauptstudie. Die Ergebnisse in Kapitel 7 gliedern sich in die Bereiche theoretisches Fachwissen, praktische Kompetenz, mentale Modellbildung und Problemlösestrategien. Eine ausführliche Diskussion unter methodischer und theoretischer Perspektive erfolgt in Kapitel 8. Kapitel 9 gibt eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit.

In der Arbeit habe ich für die bessere Lesbarkeit ausschliesslich die männliche Form verwendet. An der Untersuchung beteiligten sich insgesamt vier Frauen, die bei allen Darstellungen selbstverständlich mit eingeschlossen sind.

1 Theorie

Die theoretische Einleitung in das Thema erfolgt über einführende Betrachtungen zu Lernen, zur Bedeutung von Gegenständlichkeit und Multicodierung. Diese Überlegungen führen zu psychologischen Theorien des expliziten und impliziten Lernens, Problemlösens und mentaler Modelle.

Zu den theoretischen Ausführungen gibt es Folgendes zu berücksichtigen: Auf der einen Seite ist die Verallgemeinerung bzw. Übertragbarkeit von Laborbefunden aus der Lern-, Gedächtnis- und Problemlösepsychologie in reale Lernsettings beschränkt. Auf der anderen Seite beinhalten die aus der Feldforschung abgeleiteten Ergebnisse und Theorien zu Handlungsorientierung, Gegenständlichkeit, komplexer Fehlersuche und Steuerung komplexer Systeme in vielen Fällen Konfundierung unterschiedlichster Variablen. Somit können Ursache und Wirkung nicht differenziert werden. Inwieweit die verschiedenen theoretischen Ansätze der Erklärung der in dieser Studie gefundenen Ergebnisse dienen, stellt sich im Laufe der Arbeit heraus.

Die folgenden Fragestellungen sollen theoretisch detailliert aufbereitet und empirisch am Beispiel von Pneumatik untersucht werden:

1. Was ist Gegenständlichkeit (Multimodalität) und Multicodierung im Lernkontext und wie lassen sie sich genauer beschreiben?
2. Welche Auswirkungen haben Gegenständlichkeit und Multicodierung, unter der Annahme impliziter und expliziter Lernprozesse, auf Fachwissensentwicklung, praktische Kompetenz, mentale Modelle und Problemlösestrategien?

1.1 Einführung in Lernen

Im Allgemeinen wird unter Lernen ein Prozess verstanden, „*der zu relativ stabilen Veränderungen im Verhalten oder im Verhaltenspotential führt und Erfahrungen aufbaut. Lernen ist nicht direkt zu beobachten. Es muß aus den Veränderungen des beobachtbaren Verhaltens erschlossen werden*“ (Zimbardo, 1995, S. 301). Das Verhaltenspotential bezieht sich auf die Veränderung der Fähigkeiten, kognitive und körperliche Leistungen hervorzubringen. Lernen beinhaltet also den Erwerb von Dispositionen, die sich in neuen Verhaltens- und Handlungsmöglichkeiten äussern.

Betrachtet man klassische lernpsychologische Lehrbücher (Gagné, 1965; Edelman, 1996; Schunk, 2000; Seel, 2000), so sind unterschiedliche Stufen/Arten von Lernen feststellbar (siehe Tabelle 1). Diese reichen von klassischem Reiz-Reaktions-Lernen über instrumentelles Lernen bis hin zu metakognitivem Lernen. Problemlösen wird als die komplexeste Form von Lernen verstanden.

Tabelle 1: Aufteilung in Lernarten in Anlehnung an Seel (2000)

Gagné (1965)	Edelman (1996)	Schunk (2000)	Seel (2000)
Reiz-Reaktions-Lernen	Reiz-Reaktions-Lernen	Reiz-Reaktions-Lernen	
	Instrumentelles Lernen	Instrumentelles Lernen	
Nicht-sprachliche Ketten Sprachliche Ketten			Assoziatives bedeutungsbezogenes Lernen
Diskriminationslernen			
Begriffslernen	Begriffsbildung und Wissenserwerb	Begriffslernen	Begriffslernen
Lernen von Regeln		Lernen von Regeln	Prozedurales Lernen
			Inferenzielles Lernen
		Metakognitives und konzeptuelles Lernen	Metakognitives Lernen
Problemlösen	Handeln und Problemlösen	Problemlösen und Transfer	Problemlösen

Lernen ist ein äusserst komplexer Prozess, bei dem viele Aspekte Berücksichtigung finden müssen, um Aussagen über Wirkungszusammenhänge treffen zu können. Seel (2000) gliedert wesentliche Determinanten des Lernens in seiner Übersicht in sozial-kulturelle Bedingungen (demografische Faktoren, Sozialisation in Schule und Familie, Schulkultur, Schul- und Klassenklima, Bezugsgruppen), die als Randbedingungen wirksam werden, und in anthropogene Bedingungen (kognitive, motivationale und affektive Faktoren, die um Gedächtnis und Vorwissen erweitert werden), die den Ausgangszustand für das Lernen bilden (siehe Tabelle 2).

Die Lernprozesse gliedern sich in assoziatives, inferenzielles, metakognitives Lernen und Begriffslernen, wobei diese Prozessannahmen weitgehend auf individuell-kognitiven Modellvorstellungen beruhen und z. B. situierte Ansätze (Gerstenmaier & Mandl, 2001) nicht berücksichtigen.

Als Lernergebnisse lassen sich die allgemeinen Kategorien Wissen (deklaratives, prozedurales und metakognitives Wissen und mentale Modelle) und Können (praktisches Problemlösen) unterscheiden.

Die Tabelle 2 enthält die von Seel (2000) aufgestellten Merkmale des individuellen Lernens und die vom Autor zusätzlich eingeführten Aspekte, die aus medien- und lernpsychologischer Sicht fehlen. Der Ausgangszustand lässt sich nicht ausreichend durch die anthropogenen Bedingungen beschreiben, sondern muss um die mediendidaktischen Bedingungen erweitert werden, die sich in das Lernmedium mit bestimmten Informations- und Handlungsmerkmalen und den Lerninhalt (Inhalt und Struktur) aufgliedern. Die Lernmedienmerkmale sind z. B. in der Instruktionspsychologie relevante Gestaltungsmerkmale für die Entwicklung neuer Lehr-Lern-Systeme (Schott, Sachse & Schubert, 1998). Gegenständlichkeit (siehe Handlungsarten in Tabelle 2) und Multicodierung (siehe Informationsmerkmale in Tabelle 2) sind Merkmale des Lernmediums und bilden die Schwerpunkte der vorliegenden Arbeit.

Tabelle 2: Aspekte individuellen Lernens (Seel, 2000) mit mediendidaktischen Erweiterungen des Autors

Randbedingungen	Sozial-kulturelle Randbedingungen <ul style="list-style-type: none"> • demografische Faktoren • ökonomische Faktoren • schulische Sozialisationsbedingungen • Schulkultur • Schul-/Klassenklima • Sozialisationsbedingungen in der Familie • Bezugsgruppen 		
Ausgangszustand	Anthropogene Bedingungen	Mediendidaktische Bedingungen	
	Lernender <ul style="list-style-type: none"> • kognitive Faktoren • affektive Faktoren • motivationale Faktoren • Gedächtnis • Vorwissen 	Lernaufgabe <ul style="list-style-type: none"> • Inhalt • Struktur 	Lernmedium <ul style="list-style-type: none"> • Informationsmerkmale (z. B. multicodiert) • Handlungsarten (z. B. real-gegenständlich)
Lernprozess	Begriffslernen, assoziatives, inferenzielles, metakognitives Lernen		
Lernergebnis	Wissen <ul style="list-style-type: none"> • deklaratives, prozedurales und metakognitives Wissen • mentale Modelle Können <ul style="list-style-type: none"> • praktisches Problemlösen 		

Wo lassen sich in der psychologischen Theorielandschaft Hinweise auf die Bedeutung von Gegenständlichkeit und Multicodierung für das Lernen finden?

Die Gedächtnispsychologie setzt sich seit einiger Zeit experimentell mit der Bedeutung von Handlungen (Engelkamp, 1991, 1997) auseinander, die Handlungsregulationstheorie beschäftigt sich mit dem Tu-Effekt (Oesterreich, 1994), die Forschungsgruppe um Mandl untersucht Handeln und Wissen aus einer situierten Perspektive (Mandl & Gerstenmaier, 2000). In der Entwicklungspsychologie schreibt Piaget (1991) der gegenständlichen Erfahrung im Kindesalter eine wesentliche Funktion für die kognitive Entwicklung zu, die aber beim Lernen im Erwachsenenalter bei ihm keine theoretische Begründung mehr findet. Ein etwas anderer Forschungsschwerpunkt wird in der Vergegenständlichung von geistigen Prozessen in Form von materialisierten Produktideen im Designprozess (Sachse, Leinert, Sundin & Hacker, 1999; Sachse, 1999) gelegt. Es geht mehr um die Unterstützung von geistigen Prozessen durch die Nutzung von unterschiedlichen gegenständlichen Modellen (z. B. Papier- oder Pappmodelle). In der Arbeitsforschung zeigt sich für den Bereich der realen, gegenständlichen Erfahrung (Böhle & Milkau, 1988; Hacker, 1998a) ebenfalls eine längere Forschungstradition, die das Konzept des subjektivierenden Arbeitshandelns (Böhle, 1998) verwendet. In den theoretischen Ansätzen von Engelkamp (1991) und Oesterreich (1994) wird überwiegend dem Unterschied zwischen dem Ausführen von realen Handlungen und unterschiedlich komplexen bzw. vollständigen geistigen Operationen nachgegangen. Die Art der realen Handlungen (ob man via Computer eine Anlage steuert, manuell bzw. mit echten technischen Bauteilen ein System aufbaut oder eine Robotersimulation verwendet) und deren Auswirkungen auf Lernen werden hingegen nicht differenziert, was sehr wesentlich für die theoretischen Begründungen von Systemkomponenten in neuen Lernmedien und deren Weiterentwicklung wäre.

Im Folgenden wird für das tiefere Verständnis der Gegenständlichkeit eine differenzierte Beschreibung und ihre theoretische Bedeutung für Lernprozesse aufgezeigt.

1.2 Gegenständlichkeit

Die Gegenständlichkeit ist ein Merkmal des Lernmediums. Unter Gegenständlichkeit wird der physikalische Gegenstand oder ein technisches System mit seiner sensorischen Oberflächenstruktur (z. B. rau oder glatt) und funktionalen Eigenschaften (z. B. mit dem Ohmmeter lässt sich der Widerstand messen) verstanden. Die Art der Gegenständlichkeit ergibt sich aus der Distanz und der Qualität zwischen Subjekt (Person) und Objekt (Gegenstand) und kann sich sehr unterschiedlich ausgestalten. Bei der direkten manuellen Manipulation (z. B. Bearbeitung eines Werkstücks mit einer Feile) bleiben alle

sensorischen Qualitäten erhalten. In der medial vermittelten Interaktion gehen einerseits sensorische Eigenschaften verloren (Manipulation eines Objektes im virtuellen Raum, wie z. B. Aufbau einer simulierbaren Chemieanlage), andererseits finden im Computer in vielen Fällen Veränderungen der Darstellungsarten (Codierformat) und -qualitäten (Farben, geometrische Merkmale etc.) statt. So zeichnen sich virtuelle Komponenten (z. B. Motoren oder elektrische Schaltungen) durch ihren immer gleich bleibenden optischen Eindruck und Funktionsfähigkeit aus, was der Verwendung solcher Komponenten in der Realität nicht entspricht, da diese z. B. mechanischem Verschleiss unterliegen.

Die Gegenständlichkeit findet unterschiedlichen Eingang in die psychologische Theoriebildung. So wird ihr in der kognitiven Entwicklungstheorie von Piaget (1991) ein wesentlicher Beitrag für die Ausbildung von flexiblen und komplexen kognitiven Strukturen zugeschrieben, da sich das Kleinkind die Welt über das Greifen von Gegenständen erschliesst. Ihr kommt insbesondere in der sensomotorischen, vor-operativen und konkret-operativen Phase eine prägende Funktion zu. Galperin (1980) unterscheidet in seiner Theorie der etappenweisen Bildung der geistigen Operationen drei Stufen der Interiorisierung: (1) Handlungsausführung in materieller oder materialisierter Form, (2) Verallgemeinerung der Handlung und (3) Handlungsausführung in Form von „äusserem“ und „innerem Sprechen“. Gegenständlichkeit ist nicht als reines Objekt konzeptualisiert, sondern in Anlehnung an Leontjew (1977) ergibt sich der Inhalt des Bewusstseins aus der gegenständlichen Tätigkeit, wobei sich die theoretischen Überlegungen der Interiorisierung der „Aussenwelt“ (physikalische und soziale Umwelt) auf Vygotskij (1974) beziehen. Galperin macht keine expliziten Aussagen über die Beschaffenheit und die Eigenschaften von Gegenständen und deren Auswirkungen auf Bewusstseinsinhalte, sondern verbleibt auf der allgemeinen Ebene einer Wechselseitigkeit. In den Arbeitswissenschaften wird die Erfahrungsbildung im Zusammenhang mit gegenständlichem Arbeiten (bzw. subjektiviertem Arbeitshandeln) als ein wichtiger Lernprozess konzipiert (Böhle & Schulze, 1997). Die theoretischen Überlegungen beruhen überwiegend auf anthropologischen und ontologischen Ansätzen, die auf die Hand als Lern- und Erfahrungsinstrument in der Menschwerdungsgeschichte verweisen (Wehner, 1990; Brauer, 1999).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Gegenständlichkeit sich aus verschiedenen Sinnesmodalitäten und Informationen (visuell und haptisch) zusammensetzt. Es werden psychomotorische Informationen erzeugt, wenn Personen die Gegenstände manipulieren (Oesterreich, 1994).

Ausserdem stellt Gegenständlichkeit eine wesentliche Einflussgrösse für die Entwicklung von Bewusstseinsinhalten (Leontjew, 1977) dar.

Wie wirken sich diese Bestimmungsgrössen nun auf den Lernoutput aus? Für die Beantwortung dieser Frage werden Theorien über explizites Lernen, implizites Lernen und Gedächtnis herangezogen. Dies ist insofern von Bedeutung, als dass diese Theorien verschiedene Annahmen über Aneignung bzw. Existenz von implizitem und explizitem Wissen treffen.

1.3 Explizites Lernen

Der Mensch wird als bewusster Informationsverarbeiter verstanden, wobei sich drei Stufen der Informationsverarbeitung unterscheiden lassen (Baddeley, 1986, 1998):

- Informationsaufnahme
- Informationsverarbeitung
- Informationsabruf

Die Informationsaufnahme erfolgt durch die verschiedenen Sinne (Seh-, Hör-, Riech-, Tast- und Geschmackssinn). In modalitätsspezifischen Registern wird die Information in „Rohform“, d. h. in einer „reiznah“ codierten Form, für sehr kurze Zeit festgehalten. Es erfolgt eine so genannte präkategoriale Speicherung. Die wahrgenommenen Informationen gelangen in den „kognitiven Apparat“. Auf der Grundlage von Gedächtnis finden dann Lernprozesse statt (Foppa, 2000). Für die präkategoriale Speicherung lassen sich die folgenden Repräsentationsformate unterscheiden (Bruner & Haste, 1987):

- **handlungsmässige** (enaktive) Repräsentation
- **bildhafte** (ikonische) Repräsentation („reale“ Bilder)
- **symbolische** Repräsentation (Zeichen und Symbole)
- **sozio-kulturelle** Repräsentation

Dörner (1995) schreibt den bildhaften und symbolischen Repräsentationen bestimmte Eigenschaften zu. Die symbolischen (propositionalen) Codierungen sind Wortmarken (Komponenten eines Sachverhaltes) und deren Relationen (Verbindungsarten). Sie sind flexibler als analoge Verbindungen. Auf der Basis von symbolischen Codierungen lässt sich somit leichter etwas Neues konzipieren. Die Codierung steht eng in Verbindung mit dem analytischen Charakter der Sprache (Denken über die Realität hinaus). Demgegenüber sind bildhafte (analoge) Codierungen ökonomischer und plastischer, aber resistent gegen

Strukturtransformationen, d. h., Vorstellungsbilder sind strukturell invariant. Beispielsweise ist es sehr schwer, die Isomorphie (punktsymmetrisches Spiegelbild) von zwei Bildern zu erkennen. Bilddenken ist konservativ und verbleibt bei einmal erworbenen Erfahrungsbereichen. Für die theoretische Analyse von Informationsdarstellungen und deren Lernwirksamkeit müssen bildhafte Informationen weiter ausdifferenziert werden.

Alesandrini (1987) unterscheidet drei verschiedene graphische Informationsdarbietungen, die reiznah codiert werden:

- **realistische** Graphiken: Sie weisen eine physikalische Ähnlichkeit zwischen Objekt und Darstellung auf, z. B. Fotos.
- **analoge** Graphiken: Sie zeigen eine implizite Ähnlichkeit zwischen Objekt und Darstellung auf, z. B. Silhouetten.
- **logische** Graphiken: Sie weisen eine logische Ähnlichkeit zwischen Objekt und Darstellung auf, z. B. Diagramme oder Strichzeichnungen von technischen Bauteilen.

Die logischen Graphiken stellen wesentliche Elemente eines Gegenstandes dar, die den Verstehensprozess fördern. Schon Dwyer (1975) konnte deutlich zeigen, dass eine Strichzeichnung des Herzens bei Medizinstudenten zu einer deutlich besseren Behaltensleistung führte als echte Bilder. Dies hat er damit erklärt, dass Lernende auf diese Art wesentliche Aspekte leichter von unwesentlichen Aspekten unterscheiden können. Im Zusammenhang mit 2D- und 3D-Darstellungen konnten Dede, Salzman, Loftin & Sprague (1999) einen Lernvorteil für die 3D-Darstellungen im Bereich der Physik feststellen. Sie begründeten diesen Befund mit der höheren Anschaulichkeit dreidimensionaler Magnetfelder. Bei solchen Untersuchungen muss der Zusammenhang bzw. die Konfundierung zwischen Lern- und Prüfungscodalität beachtet werden, denn wie z. B. Rost und Strauss (1993) zeigten, besteht eine Interaktion zwischen dem Format der Informationsdarbietung in der Problemlöseaufgabe und dem verwendeten Format in der Wissensvermittlung. Ein Training mit analogem Format führte zu besseren Problemlöseleistungen in Aufgaben mit graphischen Darstellungen als mit numerischen Darstellungen. Zu vergleichbaren Ergebnissen mit anderem Lernmaterial kommen Bruenken, Steinbacher, Schnotz und Leutner (2001). Bei Unterschieden zwischen Lern- und Prüfungscodalitäten ist von Schülern eine Transferleistung zu erbringen. Die Transferforschung unterscheidet zwischen horizontalem (lateralem) und vertikalem Transfer (Gagné, 1965). Beim lateralen Transfer kann der Lernende erlerntes Wissen auf Aufgaben mit vergleichbarer Komplexität erfolgreich übertragen. Dabei bleibt die

Entwicklung von neuem Wissen gering. Demgegenüber wird beim vertikalen Transfer Wissen zum Problemlösen in ein neues Gebiet übertragen und neues Wissen entwickelt sich. Weiter wird in der Lerntransferforschung zwischen positivem/negativem Transfer (Transfergüte) und generellem/spezifischem Transfer über verschiedene Inhaltsbereiche hinweg unterschieden (Seel, 2000). Positiver Transfer ist gegeben, wenn angeeignetes Wissen die Lösung einer neuen Aufgabe begünstigt und nicht durch Interferenzen verschlechtert. Dies ist z. B. der Fall, wenn die gleiche mathematische Struktur den Aufgaben zugrunde liegt (Berry & Broadbent, 1988), Vorwissen in fallbasierten Settings angeeignet wurde (Gruber, Mandl & Renkl, 2000) oder bei der Aufgabenlösung auf vergleichbare abstrakte Wissens Elemente zurückgegriffen werden kann (Anderson, 1996). Basierend auf derartigen Ergebnissen wurden für nachhaltiges Lernen unterschiedlichste Massnahmen abgeleitet (vgl. Schüssler, 2001). Für die weiteren Betrachtungen genügt die empirische Erkenntnis, dass eine leistungsbestimmende Konfundierung zwischen Prüfungs- und Lerncodalitäten vorliegt, die durch die induzierten Repräsentationsformate von Wissens Elementen verursacht wird und den lateralen Transfer erschwert.

Die Gedächtnistheorien gehen ab der reiznahen präkategorialen Repräsentation unterschiedliche Wege in Richtung Einspeichermodele (Craik & Lockhart, 1972; Anderson, 1996) oder Mehrspeichermodele (Atkinson & Shiffrin, 1968; Baddeley, 1986, 1998). Engelkamp hat mit seiner multimodalen Gedächtnistheorie (1991) eines der bisher umfangreichsten theoretischen Modelle vorgestellt, in dem er Überlegungen aus beiden Modellrichtungen miteinander integriert hat. Danach besteht das Gedächtnis aus zwei Systemen mit jeweils zwei Untersystemen:

Konzeptuelles System (strategische Verarbeitung)

- verbales konzeptuelles System (verbale Codierung mit Wortkonzept)
- nonverbales konzeptuelles System (bildliche Codierung mit Referenzkonzept)

Sensomotorisches System (automatische Verarbeitung)

- verbales sensomotorisches System (Lesen, Schreiben, Hören, Sprechen)
- nonverbales sensomotorisches System (Riechen, Schmecken, Tasten, Handeln)

In das sensomotorische System gelangen sämtliche wahrnehmungsbezogenen (visuelle, akustische etc.) Informationen und werden in Form von Bildmarken, Geschmacksmarken etc. modalitätsspezifisch gespeichert. *„Es genügt, davon auszugehen, daß Marken durch Merkmale aktiviert werden und daß es für jeden Markentyp einen begrenzten Satz von*

Merkmale gibt“ (Engelkamp, 1991, S. 63). Die Aktivierung dieser sensomotorischen Marken erfolgt durch bottom-up Prozesse, d. h. bei der Wahrnehmung von Aussenreizen. Die Marken repräsentieren das Erscheinungsbild von Objekten (z. B. deren Form) und Ereignissen (z. B. einer Hochzeit).

Das konzeptuelle System arbeitet modalitätsunspezifisch auf begrifflich-semantischer Basis (Propositionen). Die Propositionen bestehen aus funktional differenzierten Konzepten: dem Prädikatskonzept und dem Argumentskonzept. Diese Konzepte repräsentieren die Wissensstrukturen. In Interaktion mit den sensomotorischen Konzepten wird die Bedeutung (semantische Information) der wahrgenommenen und repräsentierten Objekte bestimmt. Semantische Informationen untergliedert Engelkamp (1991) weiter in itemspezifische Informationen, Informationen bezüglich der individuellen Merkmale eines Items (d. h. solche, die diese distinkt machen und von anderen unterscheiden) und in relationale Informationen (Informationen, welche die zu lernenden Items zueinander in Bezug setzen). Die Unterteilung ist für die Speicherung von Handlungen (reale und medial vermittelte Handlungen, siehe Tabelle 5) relevant, da Engelkamp (1991) annimmt, dass das Ausmass der item-spezifischen Verarbeitung durch Handlungen gefördert wird. Diese Annahme lässt sich damit erhärten, dass Handlungen eine semantische Verarbeitung der Informationen (Craik & Lockhart, 1972) bedingen, was wiederum bedeutet, dass Handlungen durch top-down Prozesse im konzeptuellen System aktiviert werden. In Lernmedien mit höherem Handlungsanteil sollte eine Person mehr itemspezifische Informationen speichern. Der Anteil an relationaler Informationsspeicherung bleibt im Vergleich zum Lesen gleich.

Auf der Ebene der Multimodalität, d. h. der Kombination von unterschiedlichen Sinneskanälen (z. B. Ausführung einer verbal angeleiteten und medial vermittelten Herzoperation mit einem Force-Feedback-Device), hat Engelkamp die Konzepte von Baddeley (1986) aufgenommen. Er postuliert eine höhere Informationsverarbeitung bei Multimodalität als bei Unimodalität aufgrund einer reduzierten Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch sinnesspezifische Informationsverarbeitungssysteme. Dies ist ein Hauptargument für die Entwicklung von neuen multimedialen Lernsystemen (Brockenmeyer, 1992).

Hinsichtlich der Codierung folgt Engelkamp (1991) für sein Modell den Überlegungen von Anderson (1983), der eine multiple Codierung annimmt. Der bekannte Bildüberlegenheitseffekt gegenüber Textbeschreibungen wird nicht wie bei Paivio (1971) durch die automatische Codierung eines Bildes in Text und Bildformat erklärt, sondern damit, dass Bildmarken einen unmittelbareren Zugang zu Referenzkonzepten haben als Textmarken.

Die Multicodierung von Informationen, z. B. in einem Text mit Graphik, wirkt sich ebenfalls positiv auf die Lernleistung aus, da die Informationen durch höhere Transparenz besser gespeichert werden können, was Mousavi, Low und Sweller (1995), Cooper (1997) und van Merriënboer, Schuurman, de Croock und Paas (2002) in ihren Untersuchungen bestätigten.

Weidenmann (1996) schreibt in diesem Zusammenhang: *„Für effektives Lernen scheint sowohl eine sinnvoll abgestimmte multiple Codierung der Information wie eine vielfältige interne Codierung bei der Verarbeitung vorteilhaft zu sein“* (S. 339).

Nachdem die Informationen gespeichert sind, stehen sie mental repräsentiert zum Wissensabruf bereit. Bei genauer Betrachtung scheint sich automatisch das Problem der entwickelten Wissensarten aufzudrängen. Bei Engelkamp (1991) lässt sich keine allgemeine Definition seines Wissensbegriffs finden. Eine Differenzierung zwischen Information und Wissen fehlt in seinen Ausführungen. Er setzt sie anscheinend implizit gleich. Engelkamp (1991) schreibt zur Verwendung seiner Begriffe:

Es liegt nahe, bei den Ausführungen an vorhandene Begrifflichkeiten der psychologischen Literatur zu denken und z. B. senso-motorisches Wissen als episodisches Wissen und begriffliches als semantisches Wissen zu identifizieren oder kategoriales Wissen mit Netzwerkmodellen in Verbindung zu bringen. (S. 18)

Die Vorerfahrungen werden als gespeicherte Wissens Elemente nach dem Prinzip der Erkennung von Oberflächenmerkmalen und/oder Tiefenstrukturen in der gestellten Aufgabe in Anlehnung an das „Konzept der Encodierungsspezifität“ von Wissens-elementen (Tulving & Osler, 1968; Tulving, 1983) abgerufen. Engelkamp (1991) hat dies ausdifferenziert und geht davon aus, dass die Marken des deklarativen, nicht handlungsbezogenen Wissens (Konzepte) durch Aussenreize modalitätsspezifisch aktiviert werden, was für itemspezifische und relationale Informationen gilt. Wie gut das gelingt, hängt zum einen von der Stärke des Aussenreizes (Vielfältigkeit) und zum anderen von der Stärke der vorherigen Bahnung der Gedächtnisspur ab (Anderson, 1993).

Bei Handlungen erfolgt ein strategisch konzeptgetriebener Wissensabruf, der sich als Tun-Effekt im Wissensabruf niederschlägt (Oesterreich, 1994). Engelkamp (1991) zeigte, dass Tun bei Recall-Experimenten durchgängig zu besseren Behaltensleistungen führt. Oesterreich und Köddig (1995) führten in Anlehnung an Engelkamp (1991) weitere Experimente durch. Ihre Resultate zeigen, dass bereits die Generierung der vollständigen zielbezogenen Handlungsvorstellung einen zusätzlichen Behaltenseffekt bewirkt. Nilsson

und Bäckman (1991) weisen nach, dass die Aufgaben des Subject-Performed-Tasks (SPT)-Paradigmas multimodal und reichhaltig in Aspekten sind, sowohl nominal als auch funktional. Die Arbeiten von Nyberg, Nilsson und Bäckman (1995) mit SPT zeigen eine generelle Überlegenheit im Erinnern (recall) und Wiedererkennen (recognition) von SPT gegenüber verbalen Aufforderungen. Dieser Effekt tritt auch dann auf, wenn keine realen Objekte vorkommen und die Versuchspersonen nur aufgefordert werden, sich vorzustellen, sie würden die Handlung ausführen. Empirische Untersuchungen über Handlungseffekte differenzieren bisher nicht zwischen Handlungsausführung (Tätigkeit), Werkzeug und Objekt. Im leontjewischen Sinne (Leontjew, 1977) wird nicht untersucht, wie sich der Zusammenhang zwischen Subjekt, Tätigkeit und Objekt – der sich beim Lernenden durch die Einführung von Computern als Werkzeug darin äussert, dass der direkte Bezug zum Lernobjekt immer mehr verloren geht – auf Lern- und Behaltensleistungen auswirkt. Im Konzept der Gegenständlichkeit nach Leontjew (1977) werden durch die Umgestaltung der äusseren Umwelt subjektive Fähigkeiten und Wissen gebildet. Die Auseinandersetzung mit der realen gegenständlichen Welt führt zu einer Verinnerlichung der Aussenwelt, wodurch eine innere Tätigkeit anhand eines Gegenstandbildes ermöglicht wird. Hacker (1998a) nennt dies das operative Abbildsystem, welches mentales Probehandeln im Problemlöseprozess ermöglicht. Dieses wird, wie schon erwähnt, in handlungsorientiertem Unterricht (Ballin & Brater, 1996; Riedl, 1998), selbstgesteuertem Lernen (Zimmer, 1990) oder der SQR-Methode (Briggs, Tosi & Morley, 1971) umgesetzt, die dann, im Vergleich zu traditionellem Unterricht, einen positiven Effekt auf die Lernleistung zeigen.

Obwohl in der wissenschaftlichen Literatur nicht explizit formuliert, scheinen die meisten Forscher davon auszugehen, dass mit zunehmender Direktheit der Beziehung zwischen Subjekt und Objekt der Wissensgewinn im Lernprozess höher ausfällt, da jede medial vermittelte Interaktion eine Reduktion der Informationen (motorisch, visuell, haptisch und auditiv) beinhaltet. In der Entwicklung von Mensch-Maschine-Schnittstellen wird deshalb versucht, insbesondere bei Simulationsprogrammen wie Flug- und Fahrsimulatoren, der Wirklichkeit so nahe wie möglich zu kommen. Auch im Bereich der Lernsysteme (z. B. PneuSim Pro, siehe <http://www.pneusimpro.com>) versucht man sich der Wirklichkeit anzunähern. Zur vollkommenen Realitätsannäherung schreibt Brauer (1999), dies sei *„praktisch kaum umzusetzen, da dies eine wirklichkeitsgetreue Simulation von physikalischen Eigenschaften und die Übertragung der entsprechenden Wahrnehmungsphänomene auf den menschlichen Körper erfordern würde“* (S. 24). Neben den theoretischen Lücken im Bereich der Ausdifferenzierung der Gegenständlichkeit von

Handlungen muss darauf hingewiesen werden, dass das Modell von Engelkamp (1991) Gedächtnis und Informationsverarbeitung losgelöst von sozial-kulturellen Bedingungen (demografische Faktoren, Sozialisation in Schule und Familie, Schulkultur, Schul- und Klassenklima, Bezugsgruppen) und den anthropogenen Bedingungen (kognitive, motivationale und affektive Faktoren) beschreibt. Streng genommen lassen sich seine Überlegungen nur auf die Merkmale des Lernmediums hinsichtlich Handlungseffekten und Informationsformaten für die Wissensentwicklung anwenden. Doch spricht die empirische Befundlage (Weinert, 1996) deutlich gegen diese einseitige Betrachtung von Gedächtnis- und Lernprozessen. Um dem komplexen realen Lernkontext gerecht zu werden, muss insbesondere den anthropogenen Bedingungen zusätzlich Aufmerksamkeit geschenkt werden, da davon auszugehen ist, dass sie den individuellen Lernprozess und Lernerfolg als wichtige Voraussetzungen besonders beeinflussen (Helmke, 1992; Grund & Grote, 1999).

Die anthropogenen Bedingungen werden als Moderatoren im Lerngeschehen wirksam. Kognitive Fähigkeiten spielen für die Wissensentwicklung eine zentrale Rolle. Deren Einfluss wurde in verschiedensten Studien gezeigt (Egan & Gomez 1985; Greene, Gomez & Devlin, 1986; Weinert, 1996; Grund & Grote, 1999). Ackermann (1989) hat ein theoretisches Modell über die Wechselwirkungen entwickelt und geht davon aus, dass mit zunehmender Übung die aufgabenspezifischen Faktoren an Bedeutung gewinnen, und dass Fähigkeiten insbesondere zu Beginn einer Lernsequenz relevant sind, d. h. für das Erlernen eines neuen Themengebietes diese besonders zu berücksichtigen sind. Neben den kognitiven Prädispositionen ist ebenso die Motivation ein wichtiger Faktor für die Wissensentwicklung. Weinert (1990) weist darauf hin, dass deren Einfluss häufig unterschätzt wird. Motivation unterstützt den Lernprozess dadurch, dass aufgabenirrelevante Gedanken abgeschirmt werden und das persönliche Leistungsanspruchsniveau ansteigt. In einer Studie von Helmke (1992), der motivationale Faktoren, Selbstvertrauen, Vorwissen und Intelligenz und deren Einfluss auf die Lernleistung in Mathematik untersuchte, wurde gezeigt, dass neben der Motivation das Vorwissen relevant für die Wissensentwicklung war. Vorwissen bestimmt mit, wie neues Wissen assimiliert und in die kognitiven Schemata integriert wird oder die Einbettung erschwert. Fraser, Walberg, Welch und Hattie (1987), Simons, Weinert und Ahrens (1975), Waldmann (1997) und Stark, Mandl, Gruber und Renkl (2002) extrahierten in ihren Studien Vorkenntnisse als eine wichtige Einflussgrösse.

Sozial-kulturelle Bedingungen weisen bisher eine untergeordnete Rolle bei der Erforschung von individuellen Lernoutputs mit neuen Lernmedien auf. Diese Lernmedien werden nicht langfristig im Klassenzimmer eingesetzt, somit können Schulkultur, Bezugsgruppen etc. nicht wirksam werden. Bei einer schulweiten Implementierung von beispielsweise CBTs oder WBTs sind Akzeptanz und Mediensozialisation weitere wichtige Aspekte.

Bisher wurden die wesentlichen Einflussfaktoren für die Entwicklung von Fachwissen mit neuen Lernmedien unter Einbezug der Gegenständlichkeit theoretisch aus der Perspektive des expliziten Lernens erörtert. Im Weiteren wird darauf eingegangen, inwieweit implizites Lernen bei der Verwendung von neuen Lerntechnologien bedeutsam ist. Die grundsätzliche Annahme, dass jeder Lernprozess einen bewusstseinsmässigen Anteil besitzt und deklaratives Wissen hervorbringt, welches durch Automatisierung an Verbalisierbarkeit verliert (Anderson, 1996), wird in der Forschung kritisch hinterfragt, da festgestellt wurde, dass sich die Leistung in praktischen Steuerungsaufgaben (Berry & Broadbent, 1988) nicht im Systemwissenstest niederschlägt.

1.4 Implizites Lernen

Obwohl schon sehr früh Forschung zur Frage des impliziten Lernens betrieben wurde (Reber, 1967), gab es bis in die 80er Jahre kaum Lehrbücher zu diesem Thema. Auf der einen Seite lassen sich auch heute noch in den klassischen Lehrbüchern zur Lernpsychologie (Edelmann, 1996; Schunk, 2000; Seel, 2000) keine Kapitel zu implizitem Lernen finden. Auf der anderen Seite ist in den letzten zehn Jahren eine wahre Schwemme an Büchern zu implizitem Lernen und Wissen erschienen. Buchner und Wippich (1997) schreiben: „*Implicit memory and implicit learning clearly qualify as fashionable topics these days*“ (S. 4). Die Perspektiven der Autoren bezüglich dieses Themas sind äusserst vielfältig. Sie beschäftigten sich mit der Frage der Angemessenheit der Forschungsparadigmen (Buchner, 1992), Human-Computer-Interaktion und implizitem Lernen (Gutormsen Schär, 1998), Könnerschaft und implizitem Wissen (Neuweg, 1998), impliziten mentalen Prozessen (Kirsner, 1998), implizitem Wissen in Forschung und Praxis (Sternberg & Horvath, 1998), Impliziertheit von implizitem Wissen (Berry, 1998) und sehr allgemeinen Themen (Stadler & French, 1997). Daneben gab es einen wissenschaftlichen Diskurs zwischen Hoffmann (1993a, b) und Markowitsch (1993) über bewusste und unbewusste Lern- und Gedächtnisphänomene mit Kommentaren von Hammerl und Grabitz (1993), Kleine-Horst (1993) und weiterführenden Gedanken von

Hoffmann (1993c). Die traditionelle implizite Lernforschung beruht im Wesentlichen auf drei unterschiedlichen experimentellen Paradigmen: (1) auf dem Erlernen von künstlichen grammatikalischen Strukturen (Reber, 1967, 1993), (2) Kontingenzen zwischen Ereignissen (Cleeremans & McClelland, 1991; Cleeremans, 1997) und (3) dem Umgang mit technischen Systemen (Berry & Broadbent, 1988, 1993; Berry, 1991). Die zentralen Bestimmungsmerkmale von impliziten Lernprozessen sind, dass Personen Strukturen (Wissen) in ihr Verhalten einschliessen, welches sie lernten ohne dazu aufgefordert gewesen zu sein, dass sie diese Strukturen (Wissen) nicht verbalisieren können und dass implizites Lernen unabhängig von der Aufmerksamkeitssteuerung stattfindet (Hoffmann, 1993c).

In der Erforschung von Leistungen im Steuern von Systemen, z. B. einem Transportsystem (Broadbent, 1977), einem Wirtschaftssystem (Broadbent & Aston, 1978) oder einer Zuckerproduktion (Berry & Broadbent, 1984) hat sich gezeigt, dass Probanden bessere Steuerleistungen nach einer Trainingsphase erbringen, ohne dass sich die Steuerleistung in Form von Systemwissen in einem Fragebogen erfassen lassen. Dieser Sachverhalt ist unabhängig von der Dauer der Erfahrung mit dem System, d. h., die Leistung der Systemsteuerung steigt mit der Übungszeit, aber die Verbalisierbarkeit von Systemwissen nimmt parallel dazu nicht zu. In einem Experiment verglichen Berry und Broadbent (1984) die Leistungen von Personen, die zu Beginn eine ausführliche Einweisung in das System erhielten, mit der Leistung derjenigen ohne Einführung. Dabei stellte sich heraus, dass diejenigen mit Einweisung besser in Fragebogentests abschnitten, sich aber in der Systemsteuerungsleistung nicht von der anderen Gruppe unterschieden. In einem weiteren Experiment wurden die Probanden mit und ohne Unterweisung nach einer gewissen Zeit nach Erklärungen für die kommenden Systemeingriffe gefragt. Die Personen, die eine Instruktion erhalten hatten, erbrachten bessere Erklärungen und Steuerleistungen als die Gruppe ohne Instruktion. Diese Ergebnisse lassen darauf schliessen, dass während der Auseinandersetzung mit dem System etwas implizit gelernt wurde, was sich nicht explizieren lässt. Auch Kluwe, Misiak, Ringelband und Haider (1987) fanden vergleichbare Ergebnisse. Gardner, Chmiel und Wall (1996) konnten die Bedeutung von implizitem Wissen für die Fehlerdiagnose zeigen.

Um diese empirischen Phänomene zu erklären, unterscheiden Berry und Broadbent (1987) zwei Lernmodi: den U-Modus und den S-Modus. Beim U-Modus handelt es sich um den nicht selektiven (impliziten) Modus, bei dem unspezifisch alle Situationsmerkmale und Ereignisse verarbeitet werden. Die Aufmerksamkeit ist nicht fokussiert, dadurch wird es

möglich, tiefere Strukturen im Lernmaterial zu identifizieren. Der S-Modus gilt als der selektive Modus (expliziter), in dem die Person spezifische Variablen aus der Situation extrahiert und deren Zusammenwirken beobachtet, unter der Bedingung, dass diese Zusammenhänge (Strukturen) einfach auffindbar sind.

Das Auftreten der beiden Lernmodi ist abhängig von der Salienz der Aufgabenanforderungen und der Aufgabenstruktur. Broadbent et al. (1986) fanden in ihren Studien mit einer Transportsimulation, dass bei mittlerer Salienz die Leistung steigt, ohne dass die Verbalisierbarkeit grösser wird. Mit sehr geringer Salienz und hoher Variablenanzahl nimmt weder die Leistung noch die Verbalisierbarkeit zu. Personen zeigen gute Verbalisierungen, wenn wenige Variablen im System wirken oder wenn die wesentlichen Variablen salient sind. Ein weiterer wichtiger Punkt in diesem Zusammenhang ist die Untersuchung von Berry und Broadbent (1988), die zeigt, dass ein positiver Leistungstransfer von einer Aufgabe zu einer anderen stattfindet, wenn die gleiche mathematische Struktur zugrunde gelegt und die Aufgabe als ähnlich wahrgenommen wurde. Hayes und Broadbent (1988) konnten zeigen, dass vermehrt implizites Lernen stattfindet, wenn die kognitive Belastung bei der Aufgabenlösung zunimmt, und dass explizites Lernen dann besonders gut abläuft, wenn kein implizites Lernen interferiert. Für die Wissensentwicklung gilt nun, dass, wenn Beziehungen salient sind, explizites Wissen gebildet wird, und falls dies nicht der Fall ist, implizites Wissen entsteht (Berry & Broadbent, 1987).

Überträgt man die Ergebnisse auf die Gegenständlichkeit, so muss man annehmen, dass Personen, die mit gegenständlichen Systemen arbeiten – die, da sie weniger klar strukturiert sind, eine geringere Salienz aufweisen als z. B. virtuelle Robotersimulationen – insbesondere implizites Systemwissen entwickeln, und dass die Anwender von hochstrukturierten Robotersimulationen explizites Systemwissen bilden.

Bisher wurde auf explizites und implizites Lernen eingegangen. Gegenständlichkeit kann sich sowohl auf die explizite Fachwissensentwicklung als auch auf die implizite Wissensentwicklung (z. B. Steuerungswissen) auswirken. Die Überlegungen der Aneignung von implizitem Wissen durch die praktische Aufgabenbewältigung führen zur Frage der Anwendung von erworbenem Wissen, welches sich in mentalen Modellen als eine Form der komplexen Wissensrepräsentation und -nutzung konkretisiert. Die Wissensrepräsentation bezieht sich auf den Abbildungscharakter mentaler Modelle (Dutke, 1994), wohingegen die Wissensnutzung bedeutet, dass mentale Modelle Mechanismen enthalten, mit denen Personen versuchen, ein System zu beschreiben, sein Zustand zu

erfassen, Systemfunktionen zu erklären und Vorhersagen über mögliche Systemveränderungen zu treffen (Rouse & Morris, 1986). Problemlösestrategien wirken bei der Wissensnutzung in Form eines übergeordneten Regelsystems.

1.5 Problemlösestrategien und mentale Modelle

Der praktische Problemlöseprozess einer Person gliedert sich in fünf verschiedene Schritte (siehe Tabelle 3), die miteinander systematisch verhängt sind und nur aus analytischen Gründen getrennt behandelt werden.

Tabelle 3: Schematische Darstellung des Problemlöseprozesses

Lösungsschritte	Merkmale	Ziel
1. Problemraum	Aufgabenstellung	Soll-Zustand, der durch die Aufgabenstellung vorgegeben wird, mental repräsentieren
2. Situationsanalyse	Systemzustand, Ausgangssituation	Ist-Zustand der Anlage erfassen
3. Suchraum	Strategieanwendung (Primärstrategien): Zusammensetzung von verschiedenen Operatoren mit spezifischen Entscheidungskriterien unter der Berücksichtigung des Gesamtziels Sekundärstrategien/Technik: Prüfschrittabfolge mit festgelegten Teilzielen und Prüfschritte ausführen	Planen der Störungsursachensuche ↓ Erfassen und Bewerten einer Systemkonstellation ↓ Erfassen und Bewerten eines konkreten Symptoms ↓ Enddiagnose
4. Lösung	Veränderung des Systemzustandes	Soll-Ist Diskrepanz aufheben durch konkrete Handlungsoperatoren
5. Evaluation		Teilzielerreichung prüfen

Die schematische Darstellung des gesamten Problemlöseprozesses wurde in Anlehnung an Hacker (1998a) entworfen, der die psychische Regulation von zielgerichtetem Handeln (Arbeitstätigkeit) wie folgt beschreibt:

- **Richten** bedeutet das Bilden eines Ziels als (bewusste) Vorwegnahme von Handlungen.
- **Orientieren** über Aufgabe, Ausführungsmöglichkeiten und Handlungsbedingungen: Signalerfassung und -verarbeitung sowie Aktualisierung regulativ wirksamen Wissens.
- **Entwerfen** der Aktionsprogramme im Sinne des Herausbildens eines Ergebnis- und Tätigkeitsmodells und Zielanalyse zur Teilzielableitung: Arbeitsweg- und Arbeitsmitteldiskussion.

- **Entscheiden** über Ausführungsweisen und Herbeiführen des Entschlusses (als Übergang zum Verwirklichen). Auf der Grundlage der Antizipation der möglichen prinzipiellen Verfahrenswege, der gewählten Arbeitsmittel und der technologisch notwendigen Zwischenergebnisse (Teilziele) wird aus den möglichen Arbeitswegvarianten eine hinsichtlich des Aufwands-Ertrags-Kalküls zweckmässige Variante ausgewählt.
- **Kontrollieren** des Ausführens schliesst auf neuer Ebene mit dem Rückgriff auf das „innere Modell“ den Kreis der aspektweise ableitbaren psychischen Regulationsvorgänge.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte des Problemlöseprozesses und die darin verwendeten mentalen Modelle und Problemlösestrategien ausführlich diskutiert.

Der Problemraum (Schritt 1) als Ausgangspunkt des gesamten Problemlöseprozesses ergibt sich für den Problemlöser aus der Aufgabenstellung, d. h., während des Lesens der Aufgabe bildet der Problemlöser einen inneren Problemraum, der den Soll-Zustand repräsentiert. Dies geschieht durch die Entwicklung eines mentalen Modells. Mentale Modelle wurden in unterschiedlichsten Zusammenhängen untersucht, z. B. die Entwicklung mentaler Modelle durch die Nutzung einer Hypermedia-Bedienoberfläche (Heuer, Ali & Hollender, 1995), mentale Modelle von Städten (May, 1992), mentale Modelle in Human-Computer-Interaktion (Ehrlich, 1996), mentale Modelle und schlussfolgerndes Denken (Evans, 1996) und Entscheiden (Johnson-Laird, 1983), die Welt als mentales Modell (Downs & Stea, 1982), mentale Modelle und Textverstehen (Dutke, 1996) und mentale Modelle und Prozesskontrolle (Rigas & Elg, 1997; Bainbridge, 1992). Holland, Holyoak, Nisbett und Thagard (1986) arbeiteten verschiedene Merkmale mentaler Modelle heraus. Sie sind das Produkt einer internen Repräsentation der externen Welt. Die Transformation von „ausser“ nach „innen“ erfolgt nicht im Sinne einer Kopie der Aussenwelt, sondern als eine Abstraktion selektionierter Sachverhalte, in der strukturelle Beziehungen zwischen diesen bestehen bleiben (Quasi-Homomorphismen). Die Abstraktion ermöglicht, dass sich verschiedene Ereignisse in einem Modell bearbeiten lassen, wenn die Merkmalsunterschiede nicht zu gross sind. Die mentalen Modelle sind phänomenspezifisch und selektiv in Bezug auf die Auswahl der Ereignismerkmale, die der Vorhersage der Ereignisse dienlich sind. De Kleer und Brown (1983) beschreiben mentale Modelle als bereichsspezifisch, die sich aus Komponenten-Modellen (Teilmodellen) zusammensetzen.

Grundsätzlich werden mentale Modelle aktiv im Aufgabenzusammenhang konstruiert, indem Vorwissen (deklaratives Wissen, prozedurales Wissen und Handlungswissen) und Aufgabenanforderungen miteinander verknüpft werden (Rouse & Morris, 1986). Mentale Modelle sind eine komplexe Organisation von unterschiedlichsten Wissensselementen, die massgeblich in die Problemlösestrategien der Situationsanalyse (Schritt 2) einfließen.

Die mentale Modellbildung hat nach Seel (1991) verschiedene Funktionen:

- Das bruchstückhafte bereichsspezifische Wissen zu organisieren und die Welt in Form von Nachbildungsmodellen subjektiv plausibel zu machen.
- Die komplexen Welterscheinungen auf der Basis von Analogien zu erklären. Diese Analogiemodelle beinhalten heuristische Hypothesen über inhaltliche oder strukturelle Ähnlichkeit zwischen verschiedenen Gebieten.

Mentale Modelle beschreiben das Wissen um Ursache-Wirkungszusammenhänge (de Kleer & Brown, 1983; Bainbrigde, 1992), die in komplexen Systemen zu einfachen Input-Output Regelsätzen reduziert werden können (Kluwe & Haider, 1990). Kluwe und Haider (1990) unterscheiden vier verschiedene Typen von mentalen Modellen, die für ein technisches System (z. B. Chemieanlage) entwickelt werden können: (1) das formalisierte objektive Modell OM (S) des Systems S, welches durch wissenschaftliche Begriffe beschrieben wird, (2) das individuelle, interne mentale Modell des Systems S MM (S), das das ganze Wissen einer Person über das System enthält, (3) das psychologische Modell PM MM (S), das das hypothetische Wissen einer Person über das System beschreibt und (4) das Design- und Instruktions-Modell DIM (S), das das Systems S beschreibt, welches als Grundlage für die Ausbildung von Technikern dient und deren Modellbildung in einer spezifischen Art und Weise unterstützen soll. Diese Unterscheidungen scheinen plausibel, doch lassen sich das zweite und dritte Modell messmethodisch kaum trennen und verlieren somit an empirischem Wert. Sickel und Hartmann (2001) differenzieren, basierend auf Johnson-Laird (1983) sechs verschiedene Typen von mentalen Modellen, für die die gleiche Kritik wie bei Kluwe und Haider (1990) anzuführen ist. Deshalb wird hier das individuelle mentale Modell des Problemraums als eine Mischung vom zweiten und dritten Modell verstanden.

Die Ausgestaltung der mentalen Modelle ist aufgaben- und zielabhängig (Dutke, 1994). Sie werden überwiegend analog repräsentiert (Steiner, 1988), wobei spezifische deklarative Wissensselemente innerhalb der mentalen Modelle durchaus als Präpositionen gespeichert sein können (Larkin & Simon, 1987; Holland et al., 1986). Verschiedenste

Studien konnten Leistungszusammenhänge zwischen Merkmalen der mentalen Modelle und Aufgabenlösung (Bainbrigde, 1992; Rigas & Elg, 1997; Ryser, 2002) sowie die Vorteile für die Entwicklung mentaler Modelle mit Hilfe von multimedialen Lernplattformen (Heuer, Ali & Hollender, 1995) zeigen. Die Art des externen Präsentationsformats wirkt sich auf das interne Repräsentationsformat und die Problemlöseleistung aus (Rost & Strauss, 1993). Mentale Modelle sind gekennzeichnet durch ihre Simulierbarkeit (de Kleer & Brown, 1983). Diese kognitive Simulation für die Ist- und Soll-Analyse benötigt hohe Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses (Oberhauer, 1993). Die Simulation beinhaltet die Auswertung der Produktionsregeln, die in drei Schritten verläuft: Im ersten Schritt werden sämtliche Informationen der Problemsituation mit den Bedingungsanteilen der Produktionen verglichen. Im zweiten Schritt erfolgt die Auswahl einer Produktion, wenn unterschiedliche Produktionen teilweise zur Problemsituation passen. Im dritten und letzten Schritt wird die Produktion ausgeführt und abschliessend auf ihre Wirksamkeit hin evaluiert. Bei Nicht-Erreichen des Ziels wird erneut Schritt eins auf der Basis des neu erworbenen Wissens ausgeführt. Diese Zyklen werden als „recognize-act“-Zyklen (Opwis, 1988) beschrieben.

Bezieht man die drei Schritte auf die schematische Darstellung des Problemlöseprozesses (siehe Tabelle 3), so fasst Opwis (1988) den Problemraum und die Situationsanalyse in einem Schritt zusammen. Im zweiten Schritt erfolgt die Analyse nicht nur auf der Basis des mentalen Modells, sondern in Verbindung mit angeeigneten Primärstrategien (Franke, 1999), auf die später noch eingegangen wird.

Im Suchraum (Schritt 3) wird die Situationsanalyse vertieft und Sekundärstrategien bzw. Techniken kommen zur Anwendung, die den zweiten Schritt in Opwis (1988) Ablauf darstellen. Die von Hacker (1998a) für den Arbeitsprozess angenommene Ziel-Mittel-Weg Prozessreihenfolge ist zu starr für den Problemlöseprozess. Aufgrund der Merkmale von Problemen wie Vernetztheit, Dynamik, Komplexität, Transparenz und Grad des Vorhandenseins freier Komponenten (Dörner, 1976) lassen sich nicht immer genaue Ziele definieren (z. B. bei hoher Intransparenz). Somit muss, auch im Sinne von Rasmussen (1981), angenommen werden, dass teilweise keine Strategie (wie z. B. Ziel-Mittel-Weg) bewusst verfolgt wird, sondern aktuell gewonnene Informationen als Grundlage für weitere Entscheidungen dienen.

Ist die Arbeit im Suchraum abgeschlossen, so nimmt die Person konkrete Veränderungen im System, unter Anwendung von Operatoren (Lösung, Schritt 4), vor. Dörner (1974) identifiziert einen Makrooperator (Wandlungsoperator), der sich aus drei Operatoren

(Anfüge-, Trenn- und Tauschoperator) zusammensetzen kann. Beim Umsetzen von Anfügeoperatoren werden neue Komponenten gegebenen angefügt (z. B. Computer mit einer Videokarte ausstatten). Die Trennoperatoren führen zur Trennung von Komponenten (z. B. Stromverbindungen lösen) und die Tauschoperatoren beinhalten den Austausch von Komponenten (z. B. eine Festplatte austauschen). Diese Operatoren werden in der Hauptstudie mittels Beobachtungsprotokoll (siehe Kapitel 4.2.6) für die Erfassung von Problemlösestrategien umgesetzt (siehe Kapitel 4.2.6).

Die drei Operatoren können durch folgende Wirkungsmerkmale beschrieben werden:

- **Bedingtheit:** Operatoren können nur unter ganz bestimmten Bedingungen eingesetzt werden und beinhalten somit ein hohes Mass an vorheriger Zwischenzielbildung, damit sie eingesetzt werden können. Dies führt zu einer hohen Belastung des Arbeitsgedächtnisses (Dörner, 1995), da man alle Bedingungen bewusst bearbeiten muss.
- **Wirkungssicherheit:** Wirkungssichere Operatoren (deterministische Operatoren) haben eine ganz spezifische Folge. Demgegenüber sind stochastische Operatoren durch ein gewisses Mass an Unsicherheit gekennzeichnet, d. h., es ist unklar, was genau heraus kommt.
- **Wirkungsbreite:** Schmalbandoperatoren beeinflussen nur einzelne Elemente. Breitbandoperatoren zeichnen sich durch ein weites Wirkungsspektrum aus, welches insbesondere wirksam wird, wenn eine hohe Vernetzung von Elementen gegeben ist.
- **Reversibilität:** Hierbei geht es darum, inwieweit sich Auswirkungen der Operatoren rückgängig machen lassen. Hohe Reversibilität ermöglicht z. B. eine Trial & Error-Strategie.

Abschliessend erfolgt die Evaluation (Schritt 5) der Operatorenwirkung. Ist das Ziel erreicht, so ist die Aufgabe beendet. Ansonsten besteht die Möglichkeit der Veränderung des Problemraumes (Dörner, 1995), die sich in vier verschiedene Bereiche (Codierwechsel, Analogieschluss, Abstrahieren, Analyse) unterteilt. Der Codierwechsel und der Analogieschluss weisen einen direkten Bezug zu mentalen Modellen auf und werden deshalb etwas genauer behandelt. Der Wechsel der „Codierung“ bezieht sich auf den Formatswechsel der mentalen Repräsentation der Aufgabe. Die Person kann eine Aufgabe als propositionale Codierung in Wortmarken (Komponenten eines Sachverhaltes) und deren Relationen (Verbindungsart) speichern. Die propositionale Codierung steht in einer engen Verbindung zum analytischen Charakter der Sprache, dadurch wird Denken und

Problemlösen über die Realität hinaus möglich. Die analoge Repräsentation ist ökonomischer und plastischer (Dörner, 1995). Die Analogiesuche nach strukturgleichen oder -ähnlichen Gebilden ermöglicht das Auffinden von neuen Lösungsmöglichkeiten. Auch der Analogieschluss, bei dem vertraute Eigenschaften von einem bekannten auf einen unbekannten (neuen) Sachverhalt übertragen werden, um bestimmte Phänomene zu verstehen, stellt eine Problemlösestrategie dar. Hier können systematische Fehlschlüsse entstehen. Die Metaphern (Worte und Wendungen mit einer „uneigentlichen“ Bedeutung) sind Transportmittel für neue Bedeutungsnuancen, indem sie Analogieübertragungen nahe legen. Sie machen Dinge anschaulich. Das Abstrahieren bedeutet das Blickfeld erweitern, verallgemeinern und zwar mit Rückgriff auf Ober- und Unterbegriffshierarchien (Klix, 1992). Die Analyse ermöglicht das Problem in Einzelteile zu zerlegen. Die figurale Gebundenheit (Duncker, 1935) kann dazu führen, dass der Problemlöser die Einzelteile und deren Funktionsmöglichkeiten nicht erkennt.

Im Folgenden werden die Strategien als ein Element im Problemlöseprozess näher beleuchtet. Im Bereich der Strategien herrscht grundsätzlich ein semantisches Chaos. In vielen Studien werden keine genauen Definitionen abgegeben, so als ob ein Allgemeinverständnis von Strategie vorhanden wäre. Manche Autoren verstehen darunter jede Art von Operation, die zur Bewältigung einer Aufgabe notwendig ist, und andere weisen ihnen allgemeine Bedeutungen zu, die sich schwer oder gar nicht operationalisieren lassen (Bisanz & Le Frevre, 1990 zit. nach Franke, 1999). Grundsätzlich sollten Strategien und Taktiken unterschieden werden (Miller, Galanter & Pribram, 1960; Dörner, 1974).

Taktiken dienen der Realisierung von einzelnen Strategieelementen in Handlungsabfolgen (Edelmann, 1996). Die taktischen Überlegungen als Denkprozesse sind somit Überlegungen zum Zwecke des Problemlösens, in einer konkreten Problemsituation. Sie dienen direkt oder indirekt der Umformung eines Ausgangszustandes in einen Zielzustand. Die Abfolge von konkreten Lösungsschritten ist aber an bestimmte Problemlösungen gebunden und lässt sich nicht generalisieren (Putz-Osterloh, 1974). Mandl und Friedrich (1992) subsumieren diese Eigenschaften unter dem Begriff Techniken.

Strategische Überlegungen beziehen sich auf den Prozess des Problemlösens oder auf die Organisation von Informationsverarbeitungsprozessen zum Zwecke des Problemlösens. Im Kontext von Lernen wird dies auch als eine Facette von Metakognitionen umschrieben (Seel, 2000). Strategien dienen zum einen der Reduktion von Versuch-und-Irrtum Verhaltensweisen (Wickelgren, 1974) und zum anderen der Reduktion der Unbestimmtheit

im Problemraum (Dörner, 1995). Strategische Überlegungen können zu einer Änderung der Problemlösestrategie führen.

Den Strategien ist gemein, dass es sich um Regeln handelt. Diese enthalten typische Operatorensequenzen mit eingebundenen Entscheidungskriterien (von Cranach, Kalbermatten, Indermühle & Gugler, 1980). Die Operatorensequenzen gliedern sich in wenn-dann-Konstellationen. Der Bedingungsteil, die wenn-Komponenten, unterteilt sich in Merkmale der Ausgangssituation und der Ziele, welche vom deklarativen und motivationalen Wissen abhängig sind. Der Aktionsteil, die dann-Komponenten, beinhaltet Prozeduren, welche die semantische Wissensstruktur der Person anreichert oder verändert oder die externe Umgebung verändert (Anderson, 1996). Operatoren beziehen sich also auf Denk- und/oder Handlungsabläufe (Franke, 1999). Die Handlungsabläufe ergeben sich aus den Möglichkeiten der beruflichen Tätigkeitsklasse, d. h. den realen Handlungsoperatoren, die z. B. in einer chemischen Anlage ausgeführt werden können (Temperatur einstellen, Mengendurchlauf von bestimmten Substanzen regulieren, Sicherheitsmassnahmen befolgen etc.). Die Mikroprozesse beziehen sich einerseits auf die Steuerung und Kontrolle des Arbeitsgedächtnisses und andererseits auf Inferenzprozesse, die notwendig sind für die Aneignung von neuem Wissen, z. B. durch Induktion, Deduktion oder Analogiebildung und Metaprozesse (Anderson, 1996). Hussy (1993) beschreibt Strategien als regelhaftes und weitgehend unabhängiges Vorgehen zur Erarbeitung und Durchführung eines Lösungsplans. Damit ist er in seiner Definition allgemeiner und unspezifischer als von Cranach et al. (1980) und schätzt die Generalisierbarkeit der Strategien höher ein.

Franke (1999) nennt drei Aspekte – in Anlehnung an weitere Autoren – als wesentliche Merkmale von Strategien:

Strategien sind Regeln, die Denk- und Handlungsabläufe über längere Zeiträume organisieren. In einer Hierarchie von Prozessen und darin eingebetteten Teilprozessen, die einen komplexen Denk- oder Handlungsablauf ausmachen, regeln Strategien die Auswahl und Anordnung von umfassenderen Prozessschritten . . .

Strategien sind allgemeine Regeln, d. h. Regeln, die über einen weiten Bereich verschiedener Gegenstände aus verschiedenen Wissensdomänen angewandt werden können (Chi, 1984; Hacker, 1986).

Strategien sind Programme für bewusstseinsfähige kognitive Prozesse, d. h. für Prozesse, die „kontrolliert“ im Sinne von Schneider und Shiffrin (1977) sind, und die von der Person bewusst aus einer Menge möglicher Programme ausgewählt werden (Garner, 1990; Bjorklund & Harnisfeger, 1990). (S. 26)

Das Ausmass der Generalisierbarkeit (Allgemeinheitsgrad) von Strategien ist sehr unterschiedlich. Beispielsweise haben Newell und Simon (1972) das Modell eines GPS (General Problem Solver) entwickelt, welche auf der Idee der „means ends analysis“ (Mittel-Ziel-Analyse), d. h. der Kombination von „reasoning forward“ (vom Ausgangszustand zum Ziel arbeiten) und „reasoning backward“ (vom Ziel rückwärts zum Ausgangszustand arbeiten), besteht. Eine weitere sehr allgemeine Strategie ist die Trial & Error-Strategie (Dörner, 1976). Dörner unterscheidet stochastisches Versuch-Irrtums-Verhalten, bei dem der Startpunkt und die Operatorenauswahl unsystematisch erfolgt und mehrmals die gleichen Konstellationen auftauchen können, und systematisches Versuch-Irrtums-Verhalten, bei dem jeder Operator nur einmal angewendet wird. Die Reichweite der Strategien ergibt sich aus der Art der ihnen zugrunde liegenden Operatoren. Franke (1999) gliedert Strategien in folgende Bereiche:

Primärstrategien steuern die inhaltlichen Entscheidungen, die notwendig sind, um eine bestimmte Situation zu bewältigen und die Handlungsziele zu erreichen.

Prozessstrategien steuern die notwendigen Teilprozesse des Handelns. Es lassen sich funktionsspezifische Strategien (z. B. Planungsstrategien) und globale Strategien, welche die Organisation ganzer Handlungsabläufe steuern, unterscheiden.

Basisstrategien haben eine strukturgeometrische Funktion; sie sind notwendig für die Konstruktion neuer Strategien. (S. 36)

Die Aufstellung verschiedener Problemlösestrategien in Tabelle 4 zeigt zum einen semantische Unklarheiten und zum anderen die inhaltliche Spezifität von Strategien.

Tabelle 4: Aufstellung von Strategien verschiedener Autoren

Autoren	Strategien
Dörner (1995)	1. Vorwärtssuche, 2. Rückwärtssuche, 3. Tiefe-zuerst-Strategie, 4. Verwendung von Makrooperatoren, 5. Trial & Error
Newell und Simon (1972)	1. Mittel-Ziel-Analyse
Rasmussen (1981)	1. Topographische Suche, 2. Symptomatische Suche mit direkter Mustererkennung, 3. Symptomatische Suche nach Entscheidungstabellen, 4. Symptomatische Suche nach dem Testen aktuell generierter Hypothesen
Christenen und Howard (1981)	1. Conditional probability, 2. Diagnosis software, 3. Exclusion, 4. Frequency, 5. Historical information, 6. Information uncertainty, 7. Least effort, 8. Manuals, 9. Pattern symptoms, 10. Reconstruction, 11. Sensory checks, 12. Signal tracing, 13. Split half, 14. Systematic narrowing, 15. Topographic search, 16. Miscellaneous.
Konradt (1995)	1. Topographische Suche, 2. Symptomatische Suche, 3. Fallbasierte Suche und die Strategien von Christenen und Howard (1981)

Die verschiedenen Strategien beanspruchen häufig einen gewissen Allgemeingrad, doch bei genauer Betrachtung muss man zum Schluss kommen, dass sie sich auf einen spezifischen Anwendungskontext, z. B. die Simulation einer Gesellschaft (Dörner, 1992) oder einer Fehlerdiagnose (Rouse, 1993; Konradt, 1995) beziehen und sich ihre Bestimmungsmerkmale schwer auf andere Bereiche übertragen lassen. Auch andere empirische Ergebnisse (Reinmann, 1998) legen nahe, dass Menschen weniger generalisierte, sondern spezifische Strategien mit einem eingeschränkten Gültigkeitsbereich anwenden. Zehrt (1997) konnte z. B. die Wirksamkeit von spezifischem Strategietraining gegenüber wissensbasiertem Training im Diagnosebereich von pneumatischen Anlagen empirisch belegen.

Nach Rasmussen (1981) scheint die Wahl von Strategien dem Prinzip des geringsten Widerstands für das Kurzzeitgedächtnis zu folgen. Demnach werden im Suchraum zuerst die kontextunabhängigen symptomatischen Suchstrategien angewendet, bevor zur situations- und systemspezifischeren topographischen Suche gewechselt wird. Solange bekannte Routinen erfolgsversprechend scheinen, besteht wenig Anlass zu Überlegungen auf der strategischen Ebene und zur Integration verschiedener Informationen und Informationsquellen bzw. zu Überlegungen über komplexere kausale und funktionale Zusammenhänge. Reason (1990) bezeichnet solches Verhalten als „satisfying“, weil befriedigende, aber nicht optimale Vorgehensweisen gewählt werden. Aus den theoretischen Überlegungen ergibt sich die Notwendigkeit, Problemlösestrategien unter Berücksichtigung der spezifischen Aufgabenmerkmale datengeleitet zu erarbeiten.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, welche Arten von Strategien Schüler in Problemlösesituationen anwenden, wenn diese nicht spezifisch trainiert wurden und ob sich Zusammenhänge mit Merkmalen verschiedener Lernsituationen ergeben. In welcher Form sich die Gegenständlichkeit in der Entwicklung von Strategien niederschlägt, lässt sich nicht sagen, da es keine Untersuchungen darüber gibt, wie verschiedene Handlungsarten bzw. Gegenständlichkeit und Problemlösen miteinander in Verbindung stehen.

2 Lernmedienforschung

Im Folgenden wird auf den empirischen Stand der Lernmedienforschung differenziert eingegangen. Neben den in Kapitel 1 dargelegten theoretischen Überlegungen zum Lernen dienen die Einsichten der Lernmedienforschung, ihre teilweise inhaltlichen Lücken bzw. forschungsmethodischen Schwachpunkte als Begründung für die Entwicklung des empirischen Designs dieser Untersuchung.

2.1 *State of the Art*

Die deutschsprachige psychologische Medienforschung beginnt sich erst langsam als eigenständige, deutlich abgrenzbare Forschungsrichtung zu etablieren. Sie versucht die Integration von klassischen Bereichen der Lernpsychologie, Denkpsychologie, Pädagogischen Psychologie und Sozialpsychologie. Was genau unter psychologischer Medienforschung verstanden wird, ist nicht eindeutig definiert. Winterhoff-Spurk (2001) kritisiert dies scharf, da weder ein klares Forschungsgebiet noch die spezifischen Forschungskompetenzen nach aussen sichtbar werden. Trepte (1999) hat in seiner Zusammenstellung aller Multimediaforschungspublikationen gezeigt, dass sich nur ca. sieben Prozent mit Computer und Internet und vor allem dreissig Prozent mit Fernsehen beschäftigen, was in Anbetracht der rasanten Entwicklung der IK-Technologien insbesondere in Ausbildungsinstitutionen erstaunlich ist. In der bisherigen Lernmedienforschung lassen sich Forschungsergebnisse in drei Bereichen ausmachen, nämlich CBT, WBT und „klassischem“ Unterricht.

Die Medienwirksamkeitsforschung hat von den 60er bis Ende der 80er Jahre versucht, mit Vergleichsstudien die Überlegenheit bestimmter Lernmedien (Computer, Video, Buch) und Zeichensystemen (Bild, Zeichnung, Diagramm, Text) in Bezug auf Lernerfolg insbesondere auf deklaratives Wissen zu zeigen (Weidenmann, 1993).

Die gewonnenen empirischen Daten zeigen insgesamt kaum signifikante Unterschiede zwischen CBT und „klassischem“ Unterricht (Weidenmann, 1996; Hegarty, 1999; Remdisch, Heimbeck, Kolvenbach, 2000; Mandl, Balk, Reiserer, Hinkofer & Kren, 2001). Remdisch et al. (2000) führen in der Diskussion die Gleichwertigkeit der Kurse als positives Element auf, ohne eine psychologische Begründung zu liefern. Auch fehlen

jegliche Angaben zu den Lernzeiten in den Kursen, womit der Vergleich der beiden Trainingssettings eigentlich nicht mehr gewährleistet ist. Mandl et al. (2001) beschreiben in ihrer Diskussion die Gleichwertigkeit von verschiedenen Lernsituationen in Bezug auf Fachwissen als bekannte Tatsache, ohne empirische Studien zu nennen. Die Metaanalyse von Kulik und Kulik (1991) identifizierte einen mittleren Leistungsvorteil von .30 Standardabweichung gegenüber „klassischem“ Unterricht. Dieser Vorteil ist kleiner bei Studien mit längeren Lernsequenzen oder wenn der gleiche Lehrer sowohl die Experimentalgruppe als auch die Kontrollgruppe unterrichtete. Die Wirkung der Lernsequenzdauer wird sowohl mit dem bekannten Neuigkeitseffekt von Lernmedien als auch mit der Annahme erklärt, dass in kurzen Lernsequenzen spezifischeres Wissen getestet und andere Einflussfaktoren besser kontrolliert sind. Empirische Befunde, die die eine oder andere Erklärung stärker stützen, führen Kulik und Kulik (1991) nicht auf. Der Lehrereffekt findet seine Begründung ebenfalls in zwei unterschiedlichen Erklärungsmöglichkeiten: (1) Selektionseffekt, d. h., bessere Lehrer arbeiten eher mit CBT und dies führt zu besseren Lernleistungen der Schüler, (2) Lehrleistung, d. h., Lehrer, die sowohl die Experimentalgruppe als auch die Kontrollgruppe unterrichten, werden allgemein zu höheren Leistungen angespornt, womit sich die Leistungsunterschiede der Schüler verringern.

Weiter ergeben sich im Vergleich zwischen CBT und praktischem Arbeiten (Comeau, 1986) keine Unterschiede.

Ebenso liessen sich keine bis geringe Unterschiede für die Wissensentwicklung in WBT-Studien (Sharpe & Bailey, 1999; Trier, 1999; Hill & Chidambaram, 2000; Grund, Windlinger & Grote, 2002) und beim Vergleich zwischen klassischen Texten und Hypertexten (Mill, 1997) herausarbeiten. Trier (1999) begründet die Ähnlichkeit von WBT und Oncampus-Training mit der Gleichwertigkeit der Kurse hinsichtlich der inhaltlichen Ausgestaltung und der gestellten Anforderungen an den Studenten. Hill und Chidambaram (2000) fanden einen kleinen Vorteil im Leistungstest für WBT-Studenten gegenüber den Studenten der klassischen Vorlesung und führen dies auf die höhere aktive Beteiligung im WBT-Kurs zurück. Die Erklärungen für die Gleichwertigkeit bzw. geringen Unterschiede sind alles andere als zufrieden stellend. Auf der empirischen Ebene lässt sich zumindest sagen, dass es auf der deklarativen Wissens Ebene eine weitgehend unwesentliche Rolle spielt, mit welchem Medium ein Sachgebiet erlernt wird, wie es Glowalla und Häfele (1997) ebenfalls konstatieren. Das ist in Anbetracht der Ausbreitung der neuen Technologien, der zu tätigen Investitionen und der vielfach angeführten

Verkaufsgründe (schnelleres/besseres Lernen) zumindest als kritisch zu bewerten (Dörr & Seel, 1997).

Wie in den Erklärungen für die gefundenen Forschungsergebnisse deutlich wird, sind die lerntheoretischen Grundlagen für die Entwicklung von neuen Lernmedien äusserst wenig elaboriert. Im Kontext von Lernen weist z. B. Foppa (1999, 2000) auf die mangelhafte Theorieentwicklung im Bereich der Lerntheorien und ihrer geringen Verknüpfung zu Gedächtnistheorien hin. Auch andere Forscher (Bereiter, 1990; Schunk, 1991) kritisieren die theoretisch und methodisch begrenzte Lernforschung und fordern differenzierte Messungen und Theoriebildung, insbesondere für den Anwendungskontext. Für die Medienpsychologie schreibt Winterhoff-Spurk (2001) noch deutlicher: *„Zugleich ist hier nach wie vor ein bedauerlicher Mangel an Theorieentwicklung zu konstatieren“* (S. 3). Diese Kritik äussert auch Saldern (2000) in Bezug auf die Konzeption ganzer Forschungsprogramme, die weitgehend theoretische Perspektiven vermissen lassen.

Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass Lernprozesse äusserst komplexe Phänomene sind, die durch eine grosse Anzahl an Determinanten beeinflusst werden und unterschiedlichste Wirkungen auf den Lernerfolg in Bereichen wie Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz haben. Jedoch rechtfertigt die Komplexität nicht, dass sich die bisherige Lernmedienforschung fast ausschliesslich in experimentellen Forschungssettings abspielt (Blumstengel, 1998). Die Interpretation und Verallgemeinerung dieser Forschungsergebnisse ist in vielen Fällen durch Konfundierungen von Lerntool, medien-didaktischem Konzept, Lerninhalt und sehr kurzen Lerneinheiten relativ schwierig (Weidenmann, 1997). Das verwendete Lern- und Testmaterial ist in vielen Fällen einfach (z. B. Wortlisten, einzelne Sätze, Strichzeichnungen oder Minimalhandlungen). Steffens (1998) schreibt nach einer längeren Abhandlung über das Gebiet des Handlungslernens: *„Auch bei der Erforschung der Randbedingungen spontaner Erinnerungen an Handlungsabsichten wäre eine alltagsnähere Gestaltung wünschenswert“* (S.156). Die experimentellen Befunde sind nach ihrer Auffassung von geringer ökologischer Validität und spiegeln nicht die Komplexität von Lernprozessen im Handlungsvollzug wieder.

Im Durchschnitt werden in Medienuntersuchungen multimediale Lernprogramme über einen Zeitraum von 30 Minuten verwendet (Aufenanger, 1999), aus denen sich dann Ableitungen über Lernprozesse und Lerneffekte ergeben. So schreibt z. B. Najjar (1996), dass sich drei Merkmale identifizieren lassen, die beim Lernen mit Multimedia zu besseren Lernleistungen führen: (1) Verwendung von Lernmedien, die die duale Codierung von Informationen unterstützen, (2) Lernmedien, die Kontexthilfen, wie z. B. graphische

Darstellungen anbieten, (3) wenn Personen mit wenig Vorwissen oder besonderem Talent in dem jeweiligen Fachgebiet mit multimedialen Medien lernen. Die von Najjar (1996) als Begründung aufgeführten Studien sind überwiegend Feldstudien, die sich mit ebenfalls kurzen Lerneinheiten beschäftigten (z. B. 50 Wörter lernen, Texte von 800 Wörtern verstehen und wiedergeben, Lösen einer mathematischen Aufgabe mit/ohne Illustration), womit die Problematik der ökologischen Validität der Ergebnisse und Schlussfolgerungen auch bei derartigen Feldstudien nicht behoben ist.

Die heutige Lern- und Medienforschung wendet sich immer mehr von der rein outputorientierten Lernerfolgsmessung hin zu differenzierteren Untersuchungen. Der Fokus liegt vermehrt in der Ursachenforschung und in der Analyse einzelner Medienaspekte. Dabei lassen sich nach Weidenmann (1993) folgende Themengebiete unterteilen:

- **Symbolsysteme** (Zeichen, Buchstaben etc.) der Lernmedien.
- **Struktur** (klassische Textstruktur versus Hypertext etc.) der Symbolsysteme aufgrund des verwendeten Mediums.
- **Anforderungen** (Systemverständnis etc.) an den Lernenden, die sich aus dem Lernmedium ergeben.

Diese Aufteilung zeigt, dass im Bereich der Multimediaforschung die Gegenständlichkeit, d. h. die Sinnesmodalität, nicht inbegriffen ist. Unter Symbolsystemen versteht Weidenmann (1993) statische oder dynamische Bilder, Strichzeichnungen und Zeichen wie Buchstaben bzw. mathematische Zeichen, die über das Auge aufgenommen werden. Es wird anscheinend implizit davon ausgegangen, dass multimediales Lernen nur an einem klassischen Computer mit Maus und Bildschirm stattfindet und nicht an virtuell-real kombinierten Simulatoren, was in den technischen Angeboten einschlägiger Kongresse und Messen (Worlddidac 2000, Learntec 2001, ED-MEDIA 2001) und Standardwerken der psychologischen Multimediaforschung und -entwicklung (Hasebrook, 1995, Issing & Klimsa, 1997; Kerres, 2001) sichtbar wird. Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit, in welcher der Gegenständlichkeit für den Lernprozess eine besondere Bedeutung zukommt, möchte der Autor für die weiteren theoretischen Überlegungen, einen vierten Punkt anschliessen:

- **Sinneskanal** (Auge, Tastsensoren, Ohr etc.) mit entsprechenden Informationsmodus (visuell, taktil, auditiv etc.).

Die Differenzierungen von Weidenmann (1993) werden den heutigen technischen Möglichkeiten und insbesondere den neuen Interaktionsformen zwischen System und Lernenden nicht mehr vollkommen gerecht.

Ein multimediales Lernmedium sollte nicht nur anhand der Informationsmerkmale, sondern mit den vom Autor zusätzlich eingeführten Aspekten (Handlungsoptionen, die ein Lernsystem bietet und den angesprochenen Sinneskanälen) beschrieben werden. So ergeben sich drei Oberkategorien (siehe Tabelle 5) für die differenzierte Beschreibung eines Lernmediums: das Medium selbst, die Informationsmerkmale und die Handlungsoptionen.

Die Art der Informationen lässt sich durch ihren itemspezifischen Gehalt (das, was sie von anderen unterscheidet) und relationale Informationen (Aspekte, die sie mit anderen Items verbindet) differenzieren (Engelkamp, 1991). Die Informationen können unterschiedlich aufbereitet bzw. codiert werden, z. B. als Text, Bild oder Zahl. Für Erinnerungsprozesse gibt es den empirisch gut abgesicherten Bildüberlegenheitseffekt, der z. B. durch duale Codierung von Paivio (1986) oder multimodale Gedächtnistheorie von Engelkamp (1991) erklärt wird.

Tabelle 5: Beschreibungsmerkmale für Lernmedien

Oberkategorien	Unterkategorien	Operationalisierungen
1. Medium		<ul style="list-style-type: none"> • Tafel/Flipchart • Buch • Gegenstand, z. B. technisches Bauteil • Computer
2. Informationsmerkmale	Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • itemspezifische Informationen • relationale Informationen (Engelkamp, 1991)
	Codierung/ Symbolsystem	<ul style="list-style-type: none"> • Text • real-bildliche Darstellung • symbolische Darstellung • Zahlen
	Sinneskanal	<ul style="list-style-type: none"> • visuell • auditiv • haptisch
3. Handlungsoptionen	Handlungsarten	<ul style="list-style-type: none"> • real-gegenständlich • medial vermittelt • real-gegenständlich und medial vermittelt (kombiniert)
	Interaktivität/Feedback/ Hilfefunktionen	<ul style="list-style-type: none"> • Nachschlagewerke • Fehlermeldung • mit und ohne Hinweis auf mögliche Fehlerursachen

Weiter ist der angesprochene Sinneskanal ein Beschreibungsmerkmal. Da meistens eine Konfundierung zwischen Sinneskanal und Codierung vorliegt, lassen sich Effekte nicht

eindeutig auf einen bestimmten Bereich zurückführen. Weidenmann (1997) erachtet den Sinneskanal als relativ unbedeutend für Lernprozesse und schreibt der internen Codierung der Information eine höhere Bedeutung zu.

Die Handlungsoptionen, also das, was man konkret mit einem Lernsystem tun kann, bilden eine weitere wesentliche Beschreibungsdimension. Diese unterteilt sich in Interaktivität (Feedback und Hilfefunktionen) des Systems und Handlungsarten. Drei Handlungsarten müssen unterschieden werden: (1) real-gegenständlich, d. h. Arbeiten bzw. Lernen mit echten Systembauteilen oder technischen Komponenten, (2) medial vermittelt, d. h. virtuelle Komponenten entweder per Maus oder Force-Feedback-Device bearbeiten und (3) die Kombination, d. h. Verwendung beider Interaktionsformen in einem Lernsystem. Die Interaktivität zwischen Lernendem und System, d. h. die Veränderungsmöglichkeiten bestimmter Parameter (Simulation und Animation) und das Systemfeedback auf diese Eingaben, ist ein weiteres wesentliches Systembeschreibungsmerkmal. Die Interaktivität kann darin bestehen, dass der Lernende konkrete Anweisungen (geführtes Lernen) oder Hilfestellungen vom System erhält. Beispielsweise wird er beim Selbsttest auf der Basis seiner Ergebnisse auf ein nochmals zu bearbeitendes Kapitel hingewiesen, oder das System ermöglicht Simulationen von technischen Systemen, womit der Lernende seine Hypothesen testen kann (z. B. exploratives Lernen). Interessanterweise meint multimedial im Allgemeinen nur, dass unterschiedliche visuelle und zunehmend auch auditive Darstellungsformen im immer gleichen Medium, dem Computer, gewählt werden können (Weidenmann, 1997).

2.2 Evaluierte Lerntechnologien

Im Folgenden wird auf die neuen technischen Lernsysteme und Kooperationsplattformen eingegangen, die insbesondere gegenständliche Mensch-Maschine-Schnittstellen beinhalten oder multimediale Konzepte im Bereich der Pneumatik ermöglichen. Brauer (1999) hat die Bedeutung von verschiedenen Mensch-Maschine-Schnittstellen für Lernen und Erfahrungsbildung ausführlich analysiert und diskutiert und kommt zum Schluss:

Die Grundidee gegenständlicher Benutzerschnittstellen besteht darin, die Benutzung des Computers mit dem zu verbinden, was der Mensch als Teil der gegenständlichen Welt und im Umgang mit Gegenständen gut kann. Ob dies für die Mensch-Computer-Interaktion eine fruchtbare Kombination ist, muss sich erst noch erweisen.
(S. 150)

Die folgende Zusammenstellung über die aktuellsten Entwicklungen kooperativer Lern- und Arbeitsplattformen mit gegenständlichen Benutzerschnittstellen und multimedialen Lernplattformen in Pneumatik mit den dazu vorhandenen empirischen Forschungsergebnissen dient als Überblick über den bisherigen Forschungsstand und verdeutlicht den Mangel an fundierten empirischen Studien.

Kooperative Plattformen

URP - Urban Planning Workbench (Prof. Ishii, Ullmer und Underkoffler, MIT Media Lab): Das URP ist eine Weiterentwicklung der Luminous Room Technology für Planungsaufgaben. Die Forschung wird in der Tangible Media Group am MIT Media Lab geleistet und das System am Department of Architecture im Kurs „Site and Urban Systems Planning“ bei Professor Ben-Joseph eingesetzt (siehe für weitere Informationen: http://www.media.mit.edu/groups/tangible/projects/Urban_Simulation/Urban_Simulation.html). Das System wurde keiner systematischen Analyse unterzogen. Es bleibt damit ungeklärt, ob die Kombination von unterschiedlichen Repräsentationsformen sich positiv auf den Designprozess und das Designergebnis auswirkt. Bisher gibt es erste Erfahrungsberichte und Vorschläge für die Weiterentwicklung (z. B. Ishii, Underkoffler, Chak, Piper, Ben-Joseph, Yeung & Kanji 2002). In Bezug auf Gegenständlichkeit gibt es erste Ergebnisse über den Vorteil (Lösungsgeschwindigkeit) von gegenständlichen Benutzerschnittstellen (sensorisierte Pappkarten) gegenüber Papier für organisatorische Aufgaben (Jacob, Ishii, Pangaro & Patten, 2002), wobei ein p-Wert von .11 als statistisch signifikanter Effekt für das System im Gruppenvergleich interpretiert wird ohne die Durchführung von spezifischen Scheffé-Tests. Dies scheint doch sehr gewagt. Auch im Bereich der Ordnung und Gruppierung von Textsegmenten zeigen sich Vorteile im Erinnern, wenn Personen die Aufgabe mit sensorisierten Klötzen und nicht via Maus und graphischer Oberfläche ausführten (Patten & Ishii, 2002).

VIP - Visual Interaction Plattform (Prof. Rauterberg, TU Eindhoven): Studierende untersuchten die Bedeutung eines gegenständlich orientierten Systems für das architektonische Arbeiten und insbesondere neue Verwendungsmöglichkeiten der gegenständlichen Benutzerschnittstelle in Form von Metallbricks (siehe für weitere Informationen: <http://www.ipoe.tue.nl/projects/vip/>). Die Studie beschäftigt sich nicht mit Outputeffekten, wie z. B. veränderte Kooperation oder bessere/andere Designlösungen, sondern fokussiert ausschliesslich die Benutzerfreundlichkeit des Systems (Aliakseyeu, Subramanian, Martens & Rauterberg, 2002).

EDC - Envisionment and Discovery Collaboratory (Prof. Aries, Fischer und Eden, University of Colorado at Boulder): Das EDC verwendet eine ähnliche Konfiguration wie das VIP-System, erprobt aber teurere Technologien, z. B. Smartboard oder Bricks mit integrierter, prozessorgetriebener Funktionalität. Mit dem „hands-on, team-based, interdisciplinary approach“ wird in der Ingenieurausbildung „discovery learning“ erprobt (siehe für weitere Informationen: <http://www.cs.colorado.edu/~l3d/systems/EDC/>). Es werden theoretische Begründungen für die technischen Entwicklungen, jedoch keine empirische Evidenz für die Effektivität der Technologie präsentiert (Fischer, 2001; Arias, Eden, Fischer, Gorman & Scharff, 1999; Arias, Fischer & Eden, 1997).

Das Build-It System, welches an der ETH Zürich entwickelt und eingesetzt wird, verwendet Metallbricks als Benutzerschnittstelle. Wie bei den anderen Plattformen beschreiben die aktuellen Publikationen ausführlich die technischen Aspekte und die angenommenen Vorteile einer derartigen Schnittstelle auf der Basis von Handlungsregulationstheorien (Fjeld, Lauche, Bichsel, Voorhorst, Krueger & Rauterberg, 2002; Fjeld, Rauterberg & Krueger, 2001). Systematische empirische Studien fehlen.

FOD - Future Office Dynamics Möbel von Wilkhahn Deutschland: Das FOD ist ein Roomware®-Konzept, in dem Smartboardtechnologie und Application Sharing Technology in professionelle Büromöbel für kooperative und verteilte Zusammenarbeit integriert werden (siehe für weitere Informationen: <http://www.wilkhahn.de>). Die ersten Untersuchungen über das Kooperationsverhalten und den Lernerfolg mit diesem Roomware®-Konzept sind unter Windlinger, Grund, Grote, Tran & Folkers (2002) erschienen. Es zeigen sich keine Leistungsvorteile gegenüber einer Kontrollgruppe, die traditionelle Medien verwendete. Auch die Qualität und Art der Kooperation unterscheidet sich nicht in den beiden Gruppen.

Multimediale Plattformen in Pneumatik

PULSE - PNeUmatic Learning and Simulation Environment (Prof. Möbus, Universität Oldenburg): Das Pulse ist eine wissensbasierte Entwurfs- und Problemlöseumgebung, die die Konstruktion pneumatischer Schaltungen unterstützt (siehe für weitere Informationen: <http://lfs.informatik.uni-oldenburg.de/projekte/pulse/pulse.html>). Die zur Verfügung stehenden Informationen über dieses System beziehen sich auf Systembeschreibung und dem Vergleich einzelner Systemkomponenten (Willms, Göhler & Möbus, 1997; Willms & Möbus, 1998).

Die führenden Weltmarktprodukte im Bereich der Pneumatik, wie Automation Studio Version 3 von Bosch (siehe für weitere Informationen: <http://www.bosch.de>) und PneuSim Pro von Norgen (siehe für weitere Informationen: <http://www.pneusimpro.com>) verweisen auf keine Studien, die die Effektivität ihrer Produkte aufzeigen bzw. Begründungen liefern, wieso sie bestimmte Features installieren.

Die Entwickler verschiedener technischer Lernsysteme setzen sich mit Gegenständlichkeit und Multicodierung nur oberflächlich oder gar nicht empirisch in ihren Studien auseinander. Die theoretischen Annahmen für die technologischen Entwicklungen scheinen plausibel, doch eine fundierte empirische Evidenz, die über die subjektive Einschätzung solcher Systeme durch Studenten oder Schüler hinausgeht, fehlt weitgehend. Aus diesem Tatbestand, der sich für viele neue Lerntechnologien, neben wenigen Ausnahmen wie z. B. Mikelskis (2000) oder Mandl et al. (2001), fortsetzen lässt, ergibt sich die Notwendigkeit, neue Lerntechnologie und insbesondere die impliziten Lerneffektannahmen systematisch zu untersuchen, da die Wissenschaft ansonsten auf der Ebene von plausiblen Spekulationen verweilt.

4 Methoden

Im folgenden Kapitel wird kurz das gesamte Forschungsprojekt skizziert und das Untersuchungsdesign inklusive der eingesetzten Methoden präsentiert.

Die Untersuchung fand im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes BREVIE statt, in dem eine virtuell-gegenständliche Lernumgebung (CLEAR, Constructive Learning Environment) entwickelt und evaluiert wurde. Im Projekt wurden unterschiedlichste Forschungs- und Entwicklungsfragen im Bereich Hard- und Softwareergonomie, Benutzerfreundlichkeit, benutzerorientierte Produktentwicklung, real reality (Robben & Rügge, 1998) und Lernen in der Berufsausbildung bearbeitet. Die zentrale Idee dieses Forschungsprojektes lag in der Überführung von realen Komponenten ins Virtuelle via Kamerainterface als neue Form der Mensch-Maschine-Schnittstelle. So standen Berufsschülern sowohl reale Pneumatikkomponenten als auch Hilfe- und Simulationsfunktionen der Konstruktionssoftware FluidSim als Lernsystem zur Verfügung. Der so genannte Medienbruch (z. B. real/virtuell) wurde dadurch so gering wie möglich gehalten (siehe Kapitel 4.1.2). Das vorgestellte Untersuchungsdesign enthält nur die Aspekte und Variablen, die in Bezug auf Lernoutput als relevant anzusehen sind.

4.1 Untersuchungsdesign

4.1.1 Design

Für die differenzierte Analyse von Lernoutput, die Rückschlüsse auf Lernen mit neuen Medien und insbesondere auf die Bedeutung der Gegenständlichkeit ermöglicht, sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Im ersten Schritt wird die Begründung für das Untersuchungsdesign dargestellt und anschliessend auf die verwendeten Untersuchungsmethoden in Kapitel 4.2 näher eingegangen.

Die Forschungshypothesen (siehe Kapitel 1) legen aufgrund spezifischer Annahmen über unterschiedliche Auswirkungen bestimmter Lernmedienmerkmale auf Lernoutput nahe, dass ein Vergleich zwischen Gruppen eine notwendige Bedingung für deren Überprüfung ist. Grundsätzlich kann ein solcher Vergleich mit Laborexperimenten oder im natürlichen Setting durchgeführt werden. Laborexperimente weisen reaktive und artefaktartige Merkmale auf, die die externe Validität der gefundenen Ergebnisse einschränken (Huber,

1995). Auch die sehr kurzen Lernsequenzen (Aufenanger, 1999) in den meisten Untersuchungen lassen Verallgemeinerungen nur eingeschränkt zu. Das natürliche Setting hingegen hat hohe Alltagsrelevanz, wie z. B. die Untersuchung von komplexem Problemlösen in Arbeitssituationen (Konradt, 1995) bzw. in der Schule (Klieme, Funke, Leutner, Reimann & Wirth, 2001; Rhöneck, Grob, Schnaitmann & Völker, 1996) oder über Lernen und die Bedeutung von kognitiven Fähigkeiten in einer Längsschnittstudie (Weinert & Helmke, 1995) belegen. Allerdings lassen die Konfundierung verschiedener Variablen und die Abwesenheit der systematischen Variablenvariation keine klaren kausalen Aussagen zu. Somit ist die interne Validität solcher Designs reduziert, aber die externe Validität hoch.

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein quasi-experimentelles Design gewählt (siehe Kapitel 4.1.1). Damit können Lerneffekte, hervorgerufen durch eine für den Schüler bedeutsame Lernsituation, differenziert untersucht und gleichzeitig wichtige Einflussfaktoren für den Lernprozess kontrolliert werden. Als bedeutsame Lernsituation wurde ein Kurs in Pneumatik gewählt, der den Anforderungen der Berufsausbildung entspricht und sich über 16 Schulstunden à 45 Minuten in knapp zwei Wochen erstreckte. Die Schüler sollten zu Kursbeginn über kein bzw. wenig Pneumatikwissen verfügen und 16-21 Jahre alt sein.

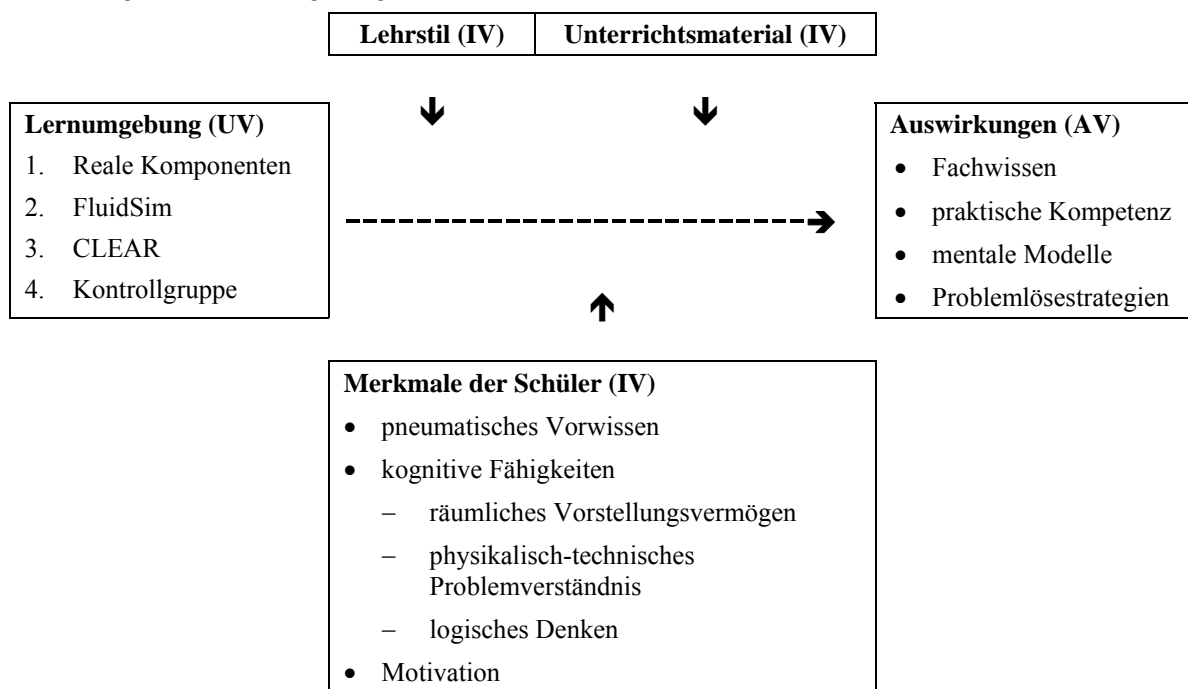
Folgendes Design wurde der Untersuchung zugrunde gelegt (siehe Abbildung 1): Drei verschiedene Lernumgebungen wurden als unabhängige Variablen für das Erlernen von Pneumatik konzipiert und zwar (1) reale Komponenten, (2) die Simulationssoftware FluidSim und (3) CLEAR.

Die Lernumgebungen unterscheiden sich in spezifischen Merkmalen (siehe Kapitel 4.1.2). Diese wirken sich auf theoretisches Fachwissen, praktische Kompetenz, mentale Modelle und Problemlösestrategie als abhängige Variablen (AV) aus. Eine Kontrollgruppe diente der Erfassung von Testeffekten in der Fachwissensentwicklung.

Der Lehrstil, das Unterrichtsmaterial und die Schülermerkmale sind als intervenierende Variablen (IV) definiert. Es wurde versucht, die Schülermerkmale durch Parallelisierung weitgehend zu kontrollieren. Sechs Schüler wurden jeweils von einem Lehrer betreut. Die gestellten Übungsaufgaben lösten sie in Zweiergruppen an einer Lernplattform selbständig und ohne weitere direkte Hilfe des Lehrers (siehe Kapitel 4.1.3). Bei der Aufgabenbearbeitung kam dem Lehrer die Rolle eines Moderators oder Coach zu. Für die Erfassung der intervenierenden kognitiven Fähigkeiten wurde auf etablierte standardisierte Testverfahren mit entsprechenden Reliabilitäten und Validitäten zurückgegriffen. Das

Vorwissen wurde mit einem selbst entwickelten Instrument erfasst, da es keinen allgemeinen Pneumatiktest gibt. Für den Bereich der Motivation wurden das inhaltliche Interesse und das Technikinteresse ebenfalls mit einer Eigenentwicklung erfasst. Der Einfluss von Randbedingungen nach Seel (2000), wie Lehrstil und Unterrichtskonzept, wurde durch weitgehende Standardisierung mit einem differenzierten Unterrichtsmanual konstant gehalten. Mögliche Reihenfolgeeffekte im Unterrichten spezifischer Inhalte wurden durch Gleichverteilung der Gruppenabfolge über den gesamten Unterrichtszeitraum kontrolliert.

Abbildung 1: Untersuchungsdesign



Anmerkungen: UV = unabhängige Variable, IV = intervenierende Variable, AV = abhängige Variable

Die abhängigen Variablen Fachwissen, praktische Kompetenz, mentale Modelle und Problemlösestrategie wurden durch verschiedene Verfahren gemessen, die zu diskutieren sind. Für eine angemessene qualitative Wissensdiagnostik schlägt Tergan (1988) vier Schritte vor:

1. Die kognitive Aufgabenanalyse beinhaltet eine genaue Beschreibung der notwendigen kognitiven Aspekte, wie z. B. logisches Denken für das Lösen der Aufgabe.
2. Die Auswahl und der Einsatz eines Diagnoseverfahrens ergeben sich aus dem gewählten Analyseschwerpunkt.
3. Die Rekonstruktion der individuellen Wissensrepräsentation basiert auf der verwendeten Methode und der dadurch implizierten Operationalisierung der Wissensrepräsentation. Diese kann auf Ergebnisdaten (z. B. Fachwissen) oder auch

Verlaufdaten (z. B. Daten aus Verhaltensprotokollen, Protokollen des „Lauten Denkens“) beruhen.

4. Die Beschreibung und Bewertung der individuellen Wissensrepräsentation kann durch Gruppenvergleiche oder Leistungskriterien, wie z. B. die Zahl der Relationen in Erklärungsmustern, Lösungsgüte und Lösungszeit, erfolgen.

Diese vier Schritte wurden folgendermassen umgesetzt:

Es wurden keine kognitiven Aufgabenanalysen durchgeführt, sondern ein Interview mit der Schweizerischen Berufsberatung für technische Berufe geführt und verschiedene Studien (Dörner & Pfeifer, 1993; Landauer, 1997; Weinert, & Helmke, 1995; Weinert, 1996) konsultiert. Daraus wurden die für den Beruf notwendigen kognitiven Fähigkeiten abgeleitet und die dazu entsprechenden Tests selektioniert (siehe Kapitel 4.2.1).

Die Wissensentwicklung (deklaratives Wissen) wurde in einem Fachwissenstest operationalisiert, der in Zusammenarbeit mit den Lehrern auf die Lernziele des Unterrichtes abgestimmt (siehe Kapitel 4.2.2) wurde.

Die Messung der praktischen Kompetenz erfolgte zum einen durch zwei Tests, die sich in der Codierung (reale Komponenten und symbolbasierter Schaltplan) unterschieden und zum anderen durch eine symbolbasierte Konstruktionsaufgabe.

Die mentalen Modelle wurden zum einen in retrospektiven Interviews mit und ohne Videokonfrontation als Erinnerungshilfe und zum anderen aus angefertigten Zeichnungen gewonnen.

Die Problemlösestrategien ergaben sich aus Verhaltensanalysen, die mit Interviewdaten gekoppelt wurden.

4.1.2 Lernmedienbeschreibung

Das Lernmedium lässt sich anhand von Inhalt, Struktur, Codierung (Weidenmann, 1997) und angesprochenen Sinneskanälen und den Handlungsarten (siehe Kapitel 2.1) beschreiben. Um eine angemessene Beurteilung eines Lernmediums vorzunehmen, müssen all diese Komponenten detailliert beschrieben und das Unterrichtskonzept reflektiert werden.


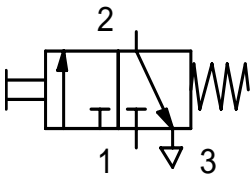



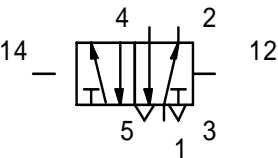
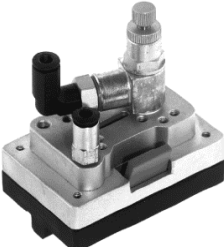
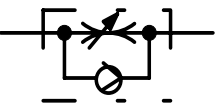
Die drei Lernmedien dieser Untersuchung (reale Pneumatikkomponenten, FluidSim und CLEAR) unterscheiden sich wie folgt:

4.1.2.1 Reale Komponenten

Die realen Pneumatikkomponenten (siehe Abbildung 2) sind Bauteile, deren Inhalt durch ihre Funktionsweisen festgelegt ist.

Das Wissen über die Komponente muss der Anwender entweder im Kopf gespeichert haben oder sich durch systematisches Schaltungstesten aneignen bzw. das darauf befindliche Symbol und die Nummerierungen kennen. Nur so kann der Schüler die Komponente im Schaltungszusammenhang richtig verwenden.

Abbildung 2: Reale Pneumatikbauteile und ihre symbolische Darstellung

			
Druckschalter		Doppeltwirkender Zylinder	
			
5/2-Wege-Ventil		Drosselrückschlagventil	

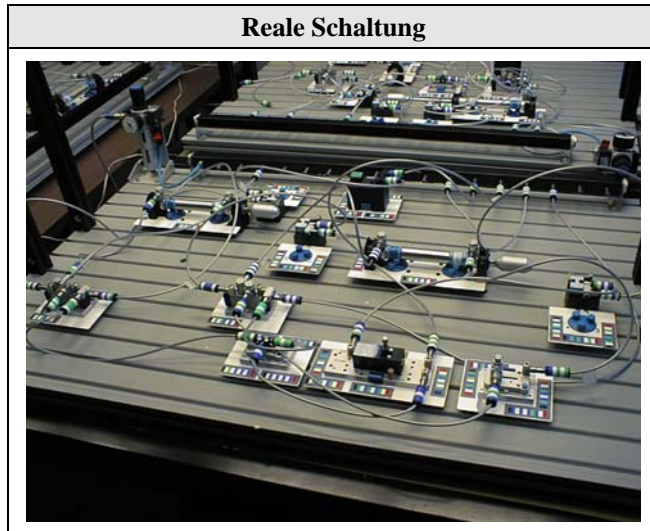
Struktur der Inhalte

Die realen Bauteile lassen nur eine bestimmte Art der Verknüpfung zu und die räumliche Orientierung der Komponenten ist durch die Montageplatte vorgegeben. Die Bauteile sind über die gesamte Platte verteilt und werden direkt mit Schläuchen miteinander verbunden (siehe Abbildung 3).

Codierung

Die Codierung ist taktil-haptisch und visuell, d. h. eine Kombination aus sensomotorischen und visuellen Informationen.

Abbildung 3: Reale Schaltung mit zwei doppelwirkenden Zylindern



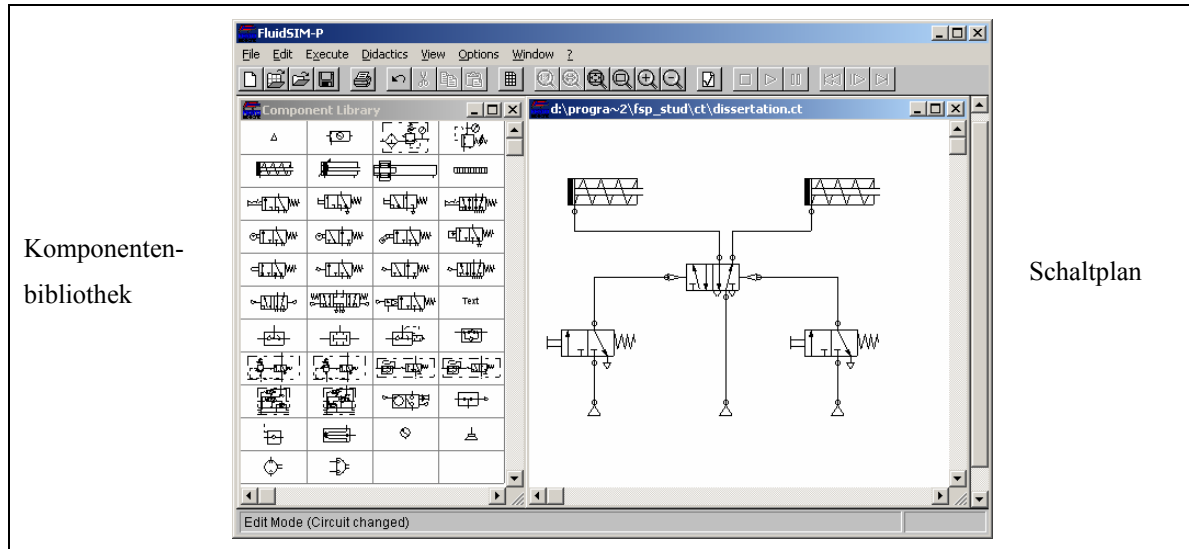
4.1.2.2 FluidSim-Software

FluidSim (siehe Abbildung 4) ist eine Lern- und Konstruktionssoftware, mit der pneumatische Schaltungen entworfen und simuliert werden können. Die Schaltungen werden, im Gegensatz zu realen Bauteilen, aus zweidimensionalen Symbolen zusammengestellt, die der Schüler einer Bibliothek entnimmt. Die entwickelte Schaltung kann anschliessend mit Hilfe der Simulation getestet werden. Neben der Simulation können die Schüler unterschiedliche Informationen im System abrufen.

Inhalte

- Schwarzweissfotos der Komponenten
- farbige Schnittbilder
- erklärende Texte über Komponenten
- Animationen/Videos, die die Grundprinzipien der Komponenten und deren Verschaltungen erklären.
- Simulation der Schaltung. FluidSim gibt vor der Ausführung der Simulation an, ob Verbindungen noch offen sind, Pneumatikschläuche sich überlagern oder über den Komponenten liegen. Der Schüler wird nur auf einen Fehler aufmerksam gemacht, wobei der Ort nicht spezifisch angegeben wird. Der Schüler muss die Warnung bestätigen, bevor die Simulation startet.

Abbildung 4: FluidSim Software



Struktur der Inhalte

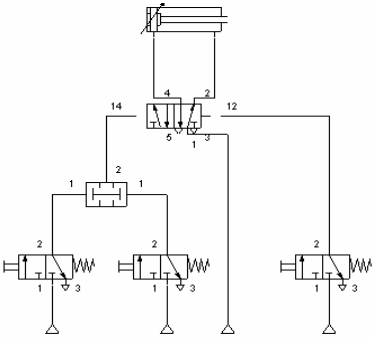
Die einzelnen Inhalte lassen sich via Menü Didaktik abrufen. Zwischen den einzelnen Inhalten gibt es keine Verknüpfungen und keine übergeordnete inhaltliche Struktur. Der Lernende kann selbst entscheiden, welche Informationen er möchte. Durch das Öffnen verschiedener Inhalte kann er Fenster nebeneinander anordnen. Beispielsweise lässt sich das Bild einer Komponente neben dem Symbol platzieren. Die Seite mit der textbasierten Erklärung enthält Links zu anderen Themen, wobei keine klare Struktur erkennbar ist, sondern nur sehr grobe Oberthemen (Zylinder, Ventil etc.) miteinander verlinkt sind.

Der Aufbau der symbolbasierten Schaltungen weist eine andere Struktur auf als derjenige der realen Schaltung. Die Schaltung wird in drei Bereiche (Zylinder/Ventile/Schalter, siehe Tabelle 6), in die Verbindungsarten (Steuer- und Signalleitung) und in den Energieanschluss unterteilt.

Zu Beginn werden die Zylinder (Aktuatoren) oben positioniert, anschliessend erfolgt die Auswahl der Wege-Ventile (Druckluft, federbelastetes Ventil) und das Anschliessen der Arbeitsleitungen. Darauf folgt die Positionierung der Taster und Endschalter am unteren Rand der Zeichnung. Danach wird die pneumatische Steuerungslogik, d. h. Selektion der benötigten Bauteile (Wechselventil, Zweidruckventil) implementiert, anschliessend alle Bauteile mit einer normgerechten Bezeichnung versehen und die Steuerleitungen angeschlossen. Der Schaltplan lässt sich nun durch Simulation testen. Vor dem endgültigen Abspeichern und Ausdrucken sollten Leitungsüberschneidungen so weit wie möglich verringert werden.

Der Aufbau der realen Schaltung unterscheidet sich vom FluidSim-Schaltplan im Wesentlichen in der räumlichen Anordnung der Komponenten. Aktuatoren werden direkt mit den Sensoren verbunden und nicht über einzelne Nummerierungen.

Tabelle 6: Struktur eines pneumatischen Schaltplans

Bereiche	Aufbau	Schaltplan	Beispiele
1	Aktuatoren		doppeltwirkender Zylinder
2	Kontrollelemente		5/2-Wege-Ventil
	Steuerungslogik/ Signalelemente		UND-Ventil
3	Sensoren/Taster		Druckschalter
	Energieanschluss		Druckluftversorgung

Der Schaltplan beinhaltet eine höhere Systematik und Standardisierung als die reale Schaltung und eingeschränkte Handlungsmöglichkeiten in den Aufbauoptionen.

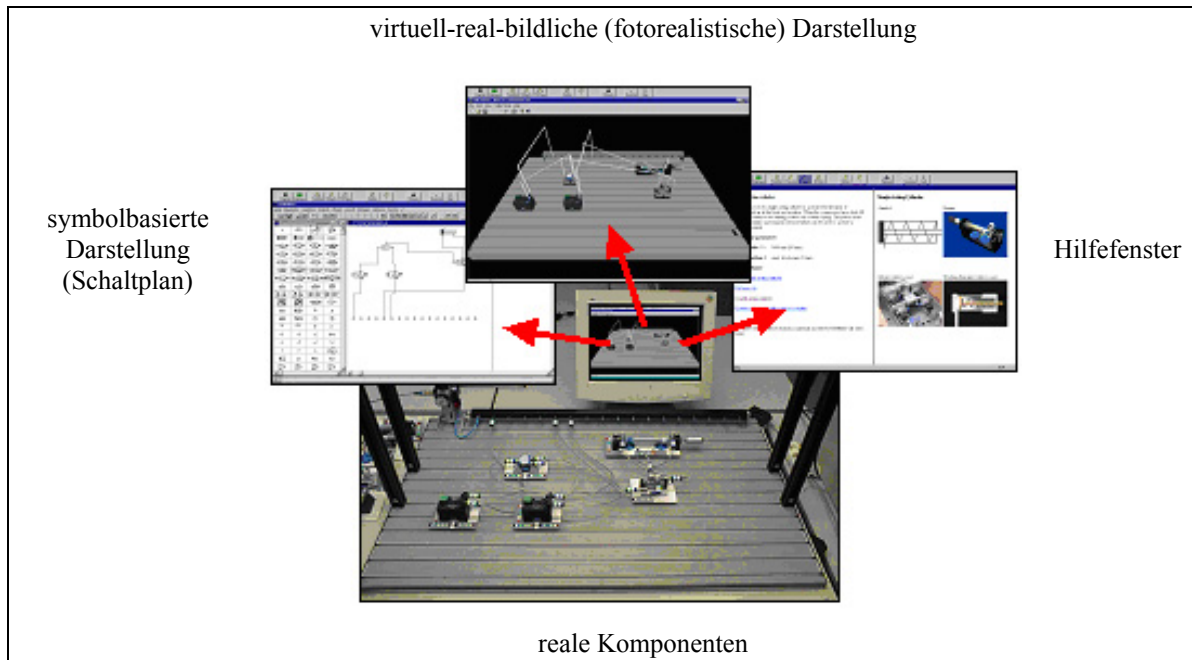
Codierung

Der symbolische Code ist zentral, da er die Basis für die Erstellung von Schaltungen darstellt. Die Hilfeinhalte sind bildlich, textlich oder sprachlich codiert. Eine Kombination von bildlicher und textbasierter Codierung taucht in den erklärenden Filmen auf.

4.1.2.3 CLEAR

CLEAR (siehe Abbildung 5) verwendet realitätsnahe Visualisierung („virtual reality“), reale Pneumatikbauteile sowie symbolbasierte und komponentenbasierte Simulationen mit Feedbackfunktionen.

Abbildung 5: CLEAR



CLEAR als Integration von realen Bauteilen und Computersimulation (FluidSim und realbildlicher Simulation) stellt dem Lernenden sämtliche Medien zur Verfügung. In dieser Umgebung kann der Lernende selber bestimmen, auf welche Art und Weise – Verwendung realer Komponenten, fotorealistischer Computerabbildungen oder Symbolen – er Aufgaben lösen möchte.

Im Sinne der Individualisierbarkeit ermöglicht CLEAR ein Höchstmass an Medien- und Lernformatsflexibilität. Unter multimedial wird ein wirklicher Medienmix (Computer und reale Bauteile) im engeren Sinne verstanden. Reale gegenständliche Erfahrung und computerbasierte Interaktivität eröffnen einen neuen Möglichkeitsraum zum Erlernen eines spezifischen Gegenstandsbereiches.

Inhalte

Im CLEAR werden die gleichen Inhalte präsentiert wie in FluidSim. Jedoch liegen sie in Form eines strukturierten Hilfefensters vor, welches sämtliche Informationen zu einem

bestimmten Bauteil enthält. Der Schüler kann sich somit schnell über ein Bauteil informieren.

Struktur der Inhalte

Die Struktur der Inhalte ergibt sich aus den Darstellungsarten und ist somit eine Kombination aus FluidSim und realen Komponenten. Das Hilfefenster als Zusatz besteht aus einer Erklärung der Komponente (Text), fotorealistischem Abbild, symbolbasiertem Bild und Arbeitsprinzipien.

Codierung

Die Inhalte sind multicodal im System repräsentiert, es liegen symbolische, sprachliche, real-virtuelle und real-gegenständliche Codierungen vor.

4.1.2.4 Zusammenfassung der wesentlichen Medienunterschiede

Die Tabelle 7 zeigt die forschungsrelevanten Unterschiede der Lernmedien hinsichtlich Inhalt, verwendeter Codierungen, angesprochener Sinneskanäle und Handlungsarten.

Die realen Komponenten zeichnen sich durch eine real-gegenständliche Interaktion (Handlungsart) aus, in der sowohl visuelle, taktile als auch motorische Informationen enthalten sind. Demgegenüber ist die Interaktion in FluidSim zwischen den symbolischen Elementen und dem Nutzer medial vermittelt und enthält visuelle und motorische Informationen. In CLEAR werden alle Interaktionsformen und Darstellungsformate miteinander kombiniert.

Tabelle 7: Forschungsrelevante Unterschiede der eingesetzten Lernmedien

Lernmedium	Inhalt		Codierung bzw. Symbolsystem		Sinneskanal		Handlungsart	
Reale Komponenten	reale Komp.	---	taktil/real-bildlich	---	visuell und taktil	---	real-gegenständlich	---
FluidSim	---	symbol-basierte Komp.	---	bildlich: symbolisch	---	visuell	---	medial vermittelt
CLEAR	reale Komp.	symbol-basierte Komp.	taktil/real-bildlich	bildlich: symbolisch	visuell und taktil	visuell	real-gegenständlich	medial vermittelt

Anmerkungen: Komp. = Komponenten

Zusätzlich verfügt CLEAR über eine fotorealistische Darstellungsform der Schaltung. FluidSim und CLEAR enthalten beide ausserdem eine Fehlermeldedefunktion und ein Hilfefenster bzw. Komponenteninformationen (siehe Tabelle 8).

Diese Gegenüberstellungen der Lernmedien machen deutlich, dass bei der Evaluation von komplexen Lernsystemen eine eindeutige Zurückführung der Ergebnisse auf ein spezifisches Merkmal kaum möglich ist.

Tabelle 8: Weitere Lernmedienunterschiede

Lernmedium	Inhalt	Codierung/Symbolsystem	Sinneskanal	Handlungsart
CLEAR	fotorealistische Komp.	bildlich: virtuell-reale Abbildung bildlich	visuell	medial vermittelt
CLEAR und FluidSim	Fehlermeldefunktion (Simulation)	bildlich: symbolisch und/oder virtuell-real	visuell	medial vermittelt
	Komponenteninformationen	textlich, bildlich und auditiv	visuell und auditiv	medial vermittelt

Es liegt also eine leicht reduzierte interne Validität vor. Allerdings kann man davon ausgehen, dass die Fehlermeldefunktion und das Hilfefenster den Lernprozess (vorhanden in FluidSim und CLEAR) nicht wesentlich beeinflussen, da im Lernmaterial sämtliche Komponenteninformationen auch vorhanden sind und die Fehlermeldefunktion zu unspezifisch ist, um gezielte Systemveränderungen vorzunehmen.

4.1.3 Unterrichtsgestaltung und technische Berufsausbildung

Im folgenden Abschnitt wird die theoretische Basis der Unterrichtsentwicklung für die Verwendung der Lerntechnologien dargestellt. Diese beeinflussen wesentlich die ablaufenden Lernprozesse und unterschiedlichen Lernoutputs. Zu Beginn wird der Aufbau und die Durchführung einer beliebigen Unterrichtseinheit betrachtet, in welcher der Lernprozess durch die Lehrperson je nach eingesetzter Unterrichtskonzeption mehr oder weniger gesteuert wird, z. B. im Frontalunterricht mit Wissensvermittlung oder im explorativen Unterricht mit hoher aktiver Schülerbeteiligung. Der gesamte, idealisierte Prozess kann in vier Phasen gegliedert werden:

1. **Lernziele:** Die Lehrperson definiert im ersten Schritt Lernziele, die im Unterricht von den Schülern erreicht werden sollen. Auf die bekannte und umfängliche kognitive Taxonomie von Bloom, Engelhardt, Furst, Hill und Krathwohl (1956) sei verwiesen, die zwischen Kenntnissen, Verstehen, Analyse, Synthese und Bewerten differenziert. Je allgemeiner die Lernziele sind, desto schwieriger wird es, diese in einem späteren Test (oder in einem anderen Verfahren) messbar zu operationalisieren. Die zentrale Frage lautet also: Welche Ziele sollen mit dem Unterricht erreicht werden?

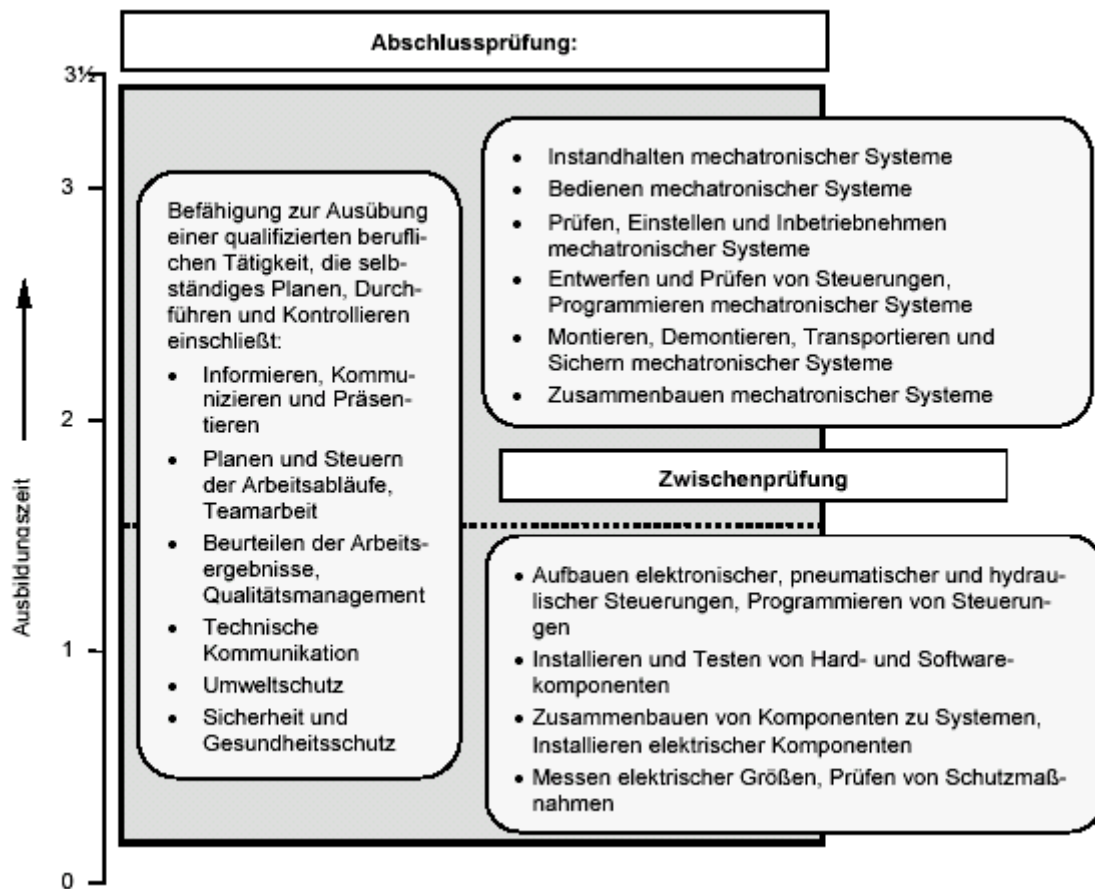
- 2. Lehrmethoden:** Aufbauend auf den Lernzielen wird ein Arbeitsschema entworfen, welches einen Überblick über alle zu berücksichtigenden Aspekte für die Erstellung eines Stundenplans gibt, wie z. B. Zeitplan, Unterrichtsablauf, Lernoutput, Lernerfolgsmessung etc. Der Unterricht erfährt seine erste Konkretisierung. Die Selektion der Lehrmittel erfolgt. Die Frage der Gegenständlichkeit spielt eine wichtige Rolle, insofern als dass entschieden wird, ob Aufgaben mit realen Anlagen, Simulatoren oder auf Papier bearbeitet werden. Die folgende Frage ist zentral: Wie und womit soll unterrichtet werden?
- 3. Durchführung:** Das Arbeitsschema wird anschliessend in einen detaillierten Unterrichtsplan überführt, wobei die Schüler- und Lehreraktivitäten, Prüfungen sowie die notwendigen Ressourcen genau beschrieben werden. Die zentrale Frage lautet: Wie wird ein möglichst effizienter Unterricht erstellt?
- 4. Evaluation:** Anschliessend erfolgt der Unterricht mit den dazugehörigen Prüfungen. Basierend auf den Ergebnissen und den gemachten Erfahrungen kann die Lehrperson den Syllabus überarbeiten oder neu gestalten. Die zentrale Frage ist: Wie erfolgreich war der Unterricht?

Am Anfang stehen Lernziele. Diese sind in so genannten Ausbildungsrahmenplänen für die jeweilige Berufsgattung dokumentiert. Im Zusammenhang mit der technischen Berufsausbildung des Mechatronikers in Deutschland werden 17 verschiedene Lernfelder mit spezifischen Lerninhalten und Lernzielen beschrieben (siehe <http://www.kalteis.de/Mechatroniker/Rahmenplan>), die sich über einen Zeitraum von 182 Ausbildungswochen verteilen. Das oberste Ziel ist der Erwerb von Handlungskompetenz, die sich in Fach-, Sozial-, Personal- und Methodenkompetenz aufgliedert und in einer projektorientierten Ausbildung entwickelt werden soll.

Die Abbildung 6 zeigt die Themengebiete, welche innerhalb der Ausbildung bearbeitet werden sollen. Die Pneumatik ist ein Teilgebiet von mechatronischen Systemen.

Die duale Ausbildungskonzeption sieht spezifische Verantwortungsbereiche für die Berufsschule (z. B. berufliche Grund- und Fachausbildung) und für den Ausbildungsbetrieb (z. B. Planen von Arbeitsabläufen, Bewerten, Dokumentieren und Präsentieren von Arbeitsergebnissen) vor.

Abbildung 6: Ausbildungsprogramm des Mechatronikers



Die Ausbildungsziele sollen mit Hilfe der Handlungsorientierung erreicht werden. Weitere pädagogische oder didaktische Richtlinien fehlen. Geht man in die betriebliche Umwelt, so ist festzustellen, dass die Ausbildung der Berufsschüler an Maschinen bzw. das allgemein als „praktische Erfahrung“ formulierte Element nach Auffassung von Ausbildern nicht fehlen darf. Sie wird von Praktikern als der zentrale Bereich gesehen, der späteres praktisches Arbeiten und Problemlösen erst ermöglicht, ansonsten bleibt alles „reine Theorie“ aus der Berufsschule. Diese „praktische Erfahrung“ beruht insbesondere auf dem real-gegenständlichen Arbeiten. Das Arbeiten an Maschinen führt nach einer gewissen Zeit zu einem, wie es in der Fachliteratur umschrieben wird, differenzierten Erfahrungswissen (Hacker, 1998a), welches sich in unterschiedlichen Leistungsparametern äussert. Beispielsweise hören Dreher, ob der Meissel noch Material abnimmt oder schon defekt ist, und erfahrene Facharbeiter wechseln das Garn an automatisierten Spinnmaschinen früher aus als unerfahrene Facharbeiter (Hacker, 1998b). Gegenständlichkeit wird als das Angreifen, Manipulieren und Bearbeiten von Werkstücken durch einen möglichst direkten Kontakt mit haptischem und auditivem Feedback verstanden, d. h. manuelles Einstellen des Vorschubs einer Drehbank, bzw. direktes Bearbeiten eines Werkstückes mit einer

Feile. Neue Werkzeugmaschinen, die nur noch durch numerische Steuerungen Werkstücke in abgekapselten Kabinen bearbeiten, weisen solche Merkmale nicht mehr auf und führen zu einem Verlust von sinnlichen Wahrnehmungseindrücken, deren Auswirkung Böhle und Schulze (1997) beschreiben: *„Die eingeschränkte Wahrnehmbarkeit von Bearbeitungsprozessen korrespondiert im Erleben mit Ohnmachts- und Hilflosigkeitsgefühlen“* (S. 43). Diese wirken sich negativ auf den Produktionsprozess aus (Böhle, 1998). Die Ergebnisse haben dazu geführt, dass in einigen neuen CNC-Maschinen, bei denen der direkte Kontakt zum zu bearbeitenden Material via Hörsinn und Tastsinn verloren geht, mit Mikrofonen die Fräsgeräusche nach aussen geleitet oder sogar mit technischen Tricks künstlich Bearbeitungskräfte erzeugt werden, z. B. via Force-Feedback-Device (Specker, 1999). Neben dem Ausbilden von Erfahrungswissen spielt ein weiteres Phänomen eine wichtige Begründungsgrundlage für das real-gegenständliche Arbeiten und Lernen, welches nicht nur in Berufsschulen, sondern auch in vielen anderen Bereichen wie z. B. Medizin (Gräsel, Prenzel & Mandl, 1993) oder Betriebswirtschaft (Mandl, Gruber & Renkl, 1994) zu beobachten ist und als träges Wissen (Renkl, 1996) bezeichnet wird. Lernende verfügen oft über enormes Fachwissen, welches sie zu einem grossen Teil nicht in die Praxis umsetzen können. Renkl (1996) schildert drei Ansätze, die das Problem aus theoretisch sehr unterschiedlichen Perspektiven zu erklären versuchen: Metaprozess-, Struktur- und Situiertheitserklärungen. Die Theorien führen interessanterweise alle zu ähnlichen Massnahmen, nämlich den Lernenden in bedeutsamen und praxisnahen Situationen einzubinden. Diese Idee wurde in dualen Ausbildungskonzepten in Form eines so genannten handlungsorientierten Unterrichts für die Theorie- und Praxisvermittlung realisiert, welcher versucht *„Handlung als Lernmedium zu integrieren. Dazu werden konkrete Handlungssituationen geschaffen, in denen handelnd gelernt und lernend gehandelt wird, in denen die Lernenden vor praktische Aufgaben gestellt werden, die sie praktisch handelnd lösen müssen“* (Ballin & Brater, 1996, S. 33). Die Handlungsorientierung ist stark mit der Gegenständlichkeit verbunden und führt dazu, dass das Lernen motiviert und das Verstehen erleichtert wird, da es Einblicke in die Gesamtzusammenhänge ermöglicht. Daneben werden Fach-, Methoden-, Personal- und Sozialkompetenz gleichberechtigt geschult (Ballin & Brater, 1996).

Das Gesagte könnte zum Schluss verleiten, das „Ei des Kolumbus“ gefunden zu haben, doch gilt es festzustellen, dass zwischen den theoretischen Überlegungen und der empirischen Befundlage eine grosse Diskrepanz vorzufinden ist.

Riedl (1998) führt sämtliche Forschungsprojekte im deutschsprachigen Raum zu handlungsorientiertem Unterricht detailliert auf und kommt zum Schluss:

Zusammenfassend lässt sich derzeit für die Situation der Forschungsrichtung zur Handlungsorientierung in der Berufsbildung feststellen, dass viele postulierte Ziele und damit der Lernerfolg und die Lerneffizienz dieses Unterrichtsansatzes noch einer umfassenden wissenschaftlichen Untersuchung bedürfen und zahlreiche Antworten auf bestehende Fragen noch offen sind. (S. 5)

Mit der Handlungsorientierung wird versucht, einen stärkeren Bezug zwischen theoretischem Wissen und praktischem Arbeiten herzustellen. Wie Lernen und Gegenständlichkeit miteinander in handlungsorientiertem Unterricht wirksam werden, ist theoretisch noch unklar. Die empirische Evidenz eines Zusammenhangs fehlt (Riedl, 1998).

Die bisherigen Annahmen über die Lernwirksamkeit und die immer weitere Verbreitung des handlungsorientierten Unterrichts veranlasste den Autor das Konzept der Handlungsorientierung im Pneumatikunterricht dieser Studie anzuwenden. Das Konzept repräsentiert den aktuellen Stand der Unterrichtsentwicklung im Bereich der Berufsbildung und erhöht somit die ökologische Validität der Untersuchung. Ebenso liess es sich problemlos mit allen drei Systemen realisieren.

Die Umsetzung fand wie folgt statt: Die Lehrer verwendeten ein Unterrichtsmanual, das vordefinierte Blöcke von jeweils 15 Minuten enthielt, in denen sämtliche Verhaltensinstruktionen, Vorgehensweisen, Aufgaben, zu verwendende Materialien (z. B. Folien, Bilder etc.), Inhalte und die jeweiligen Lernziele festgelegt waren. Die Schüler erhielten ein Arbeitsbuch, welches ihnen in jeder Stunde seitenweise ausgeteilt wurde. Das Arbeitsbuch beinhaltete Komponenten- und Schaltungswissen (z. B. Weg-Schritt-Diagramm) zum Nachschlagen und die Aufgabenstellungen mit Lösungen. Der Lehrer gab jeweils vor der Gruppenarbeit einen kurzen Theorieinput in Form eines Vortrags mit realen/simulationsbasierten Schaltungsbeispielen. Anschliessend lösten die Schüler eigenständig einfache fallbasierte Praxisaufgaben in Zweiergruppen, die in einer komplexen Folgesteuerung am Ende des Kurses mündeten. Fehlersuche wurde in der Form unterrichtet, dass sich die Schüler gegenseitig Fehler in die pneumatischen Schaltungen einbauten und sich dann bei Bedarf gegenseitig unterstützten. Der Lehrer stand während der Aufgabenbearbeitung für Fragen zur Verfügung.

4.2 Instrumente

In diesem Abschnitt werden die Instrumente vorgestellt, die in der Untersuchung zur Anwendung kamen.

4.2.1 Kognitive Fähigkeitstests

Die kognitiven Tests wurden auf der Grundlage von verschiedenen Studien (Dörner & Pfeifer, 1993; Landauer, 1997; Weinert & Helmke, 1995; Weinert, 1996) und einem Gespräch mit der Schweizerischen Berufsberatung für technische Berufe als Kontrollvariablen wesentlicher Einflussfaktoren für das Lernen selektioniert. Die schweizerische Berufsberatung führt verschiedene psychologische Tests mit Berufseinsteigern durch und verfügt über eine grosse Erfahrung bezüglich der Qualität der eingesetzten Verfahren. Die verwendeten psychologischen Tests für räumliches Vorstellungsvermögen (Gittler, 1989), logisches Denken (Horn, 1969) und physikalisch-technisches Problemverständnis (Conrad, Baumann & Mohr, 1984) spiegeln nach ihren Erfahrungen (Expertenurteil) die zentralen kognitiven Fähigkeiten für Polymechniker (Mechatroniker) wieder.

4.2.1.1 Räumliches Vorstellungsvermögen

Der Test für das räumliche Vorstellungsvermögen (Dreidimensionaler Würfeltest 3DW; Gittler, 1989) misst die Fähigkeit, Objekte mental im Raum zu drehen (siehe Anhang K). Die Aufgabe besteht im Vergleich zwischen einem Referenzwürfel und sechs rotierten Würfeln. Die Schüler mussten mit „Würfel x korrekt“, mit „Kein Würfel ist korrekt“ oder mit „Ich weiss nicht“ antworten. Der Test verfügt über einen guten Retestrelabilitätswert von $r_{tt} = .91$.

4.2.1.2 Logisches Denken

Der Test zur Erfassung des logischen Denkens stellt einen Ausschnitt aus dem P-S-B (Prüfsystem für Schul- und Berufsberatung; Horn, 1969) dar. Der Test besteht aus Items mit Zahlenreihen, verschiedenen Formen und Würfeln. Der gesamte Test beinhaltet ebenso Skalen zu logischem Schlussfolgern, Wortflüssigkeit, verbalem Ausdrucksvermögen, technischem Begriffsverständnis und numerischen Fähigkeiten. In der vorliegenden Untersuchung wurden nur die Subskalen 3 und 4 zur Messung logischen Denkens eingesetzt (siehe Anhang K). Die neue Eichung des P-S-B von Huldi (1991) wurde für die Analyse der Daten verwendet. Die beiden verwendeten Subskalen weisen eine gute Retestrelabilität $r_{tt} = .91$ auf.

4.2.1.3 Physikalisch-technisches Problemlösen

Der MTP (Mannheimer Test zur Erfassung physikalisch-technischen Problemlösens; Conrad, Baumann & Mohr, 1984) misst die generelle kognitive Fähigkeit, physikalisch-technische Probleme zu lösen. Die Schüler mussten 26 Multiple-Choice-Fragen mit fünf Antwortmöglichkeiten (A-F) aus technischen und physikalischen Themengebieten bearbeiten (siehe Anhang K). Der Test weist ebenfalls eine gute Retestreliabilität von $r_{tt} = .84$ auf.

4.2.2 Theoretischer Fachwissenstest

Der pneumatische Wissenstest wurde in Zusammenarbeit mit den Schulpartnern entwickelt (siehe Anhang A). Er gliedert sich in 18 Multiple-Choice-Aufgaben und drei offene Fragen zu pneumatischem Basiswissen und Schaltplänen. Die Schüler mussten Symbole, Ventile und Zylinder richtig zuordnen, ihre Funktionsweisen kennen, Schaltpläne und Funktionspläne lesen, physikalische Kräfte berechnen, Pneumatik definieren, Schaltungsvorschläge für bestimmte Funktionserfordernisse entwickeln und in Textform beschreiben. Sämtliche Themen waren mit dem Unterrichtsmaterial so abgestimmt, dass keine Transferleistungen für die Lösung notwendig sind, sondern nur behandelte Wissensfacetten benötigt werden. Für jede richtige Antwort in den Multiple-Choice-Aufgaben wurden 4 Punkte vergeben. Die vollständige Beantwortung der offenen Fragen ergab jeweils 10 Punkte. Die Schüler konnten maximal 102 Punkte erreichen.

4.2.3 Praktische Tests

Für die Entwicklung der praktischen Fehlersuchaufgaben (Fehlersuche an einer echten Pneumatikschaltung und in einem symbolbasierten Schaltplan) wurden die fünf Beschreibungskriterien von Dörner (1974) mit einbezogen:

- **Dynamik** beinhaltet die Veränderung des Problems über die Zeit ohne Eingriff von aussen, d. h., in der Problemanalyse mussten mögliche Entwicklungstrends des Systems abgeschätzt werden, die durch „Eigenoperationen“ verursacht werden (Dörner, 1995).
- **Komplexität** bezieht sich auf die Anzahl an beteiligten Elementen und deren Verknüpfungen innerhalb des Problemraumes.
- **Transparenz** beschreibt die Durchschaubarkeit bzw. Erfassbarkeit von bestimmten Situationsmerkmalen.
- **Vernetztheit** verdeutlicht, wie die einzelnen Merkmale voneinander abhängen. Eine Isolierung der Merkmale im Lösungsprozess ist somit praktisch unmöglich. Die

Veränderung eines Elementes innerhalb des Problemraums wirkt sich auf andere Bereiche aus. Dörner (1995) schreibt, dass man „*nicht das eine tun kann, ohne auch etwas anderes zu tun*“ (S. 298).

- **Grad des Vorhandenseins freier Komponenten** bezieht sich auf die Elemente, die man innerhalb des Problemlösens austauschen kann, wie z. B. Pneumatikzylinder oder Motorenteile. Das Problemlösen kann erheblich erleichtert werden, wenn sich ganze Systemmodule anstatt einzelne Komponenten ersetzen lassen.

Diese Beschreibungskriterien dienten als Hilfe für die Erstellung von Aufgaben mit vergleichbarem Schwierigkeitsniveau. Grundsätzlich sind komplexe technische Problemlöseaufgaben häufig durch hohe Dynamik, Komplexität, Vernetztheit und geringe Transparenz gekennzeichnet. Im Basiskurs Pneumatik ist die Dynamik der gestellten Problemlöseaufgabe dagegen klein, da diese Aufgaben noch keine Eigendynamik aufweisen. Die Fehlersuchaufgaben werden genauer in Kapitel 4.2.3.1 und 4.2.3.2 vorgestellt.

4.2.3.1 Praktische Fehlersuche

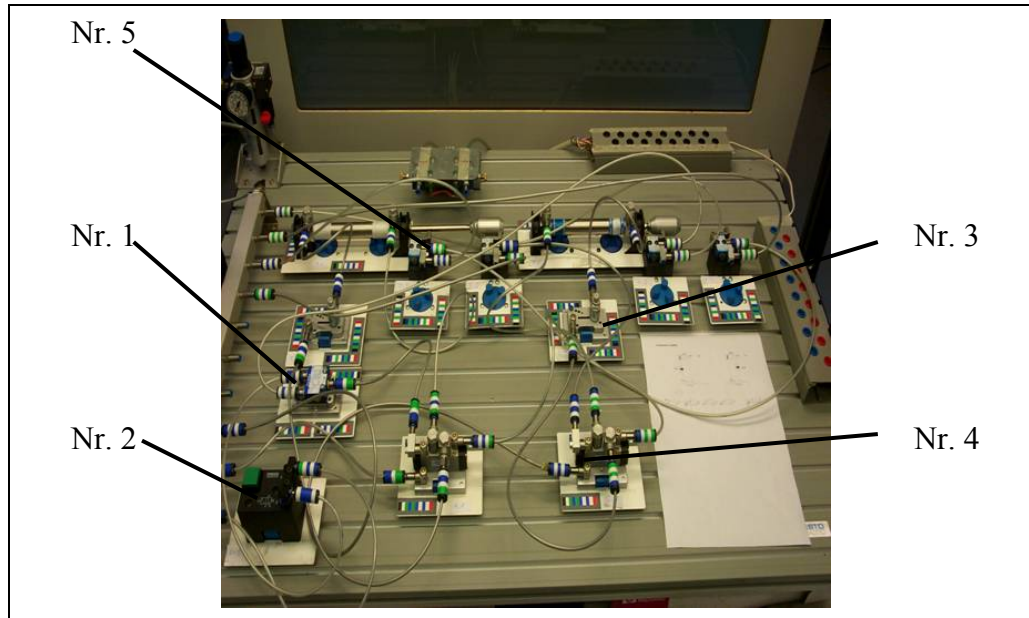
Die praktische Fehlersuche bestand darin, in einer bestehenden realen Schaltung fünf Fehler zu finden und zu beheben. Die Schüler erhielten eine Beschreibung der Funktionsweise der Schaltung in vier Schritten (siehe Anhang B). Die Anzahl der Fehler war nicht auf dem Aufgabenblatt spezifiziert. Während der Fehlersuche durfte keine neue Schaltung aufgebaut, sondern nur einzelne Schläuche und Komponenten ausgetauscht werden. Dies wurde vorgeschrieben, um die Realitätsnähe zur realen Fehlerbehebung in einer Anlage zu wahren. Den Schülern standen, neben den in der aufgebauten Schaltung vorhandenen Komponenten, drei weitere Komponenten (UND-Ventil, 4/3-Wege-Ventil, Hauptschalter geschlossen) und fünf Schläuche zur Verfügung. Zur Lösung der Aufgabe hatten sie maximal 60 Minuten Zeit.

Die Schaltung enthielt fünf Fehler mit unterschiedlichem Schwierigkeitsniveau, welches durch das Expertenrating der beteiligten Lehrer festgelegt wurde.

- Schwierigkeitsstufe 1: ODER-Ventil statt UND-Ventil Verknüpfung (Nr.1)
- Schwierigkeitsstufe 2: Falscher Hauptschalter (normal offen statt normal geschlossen) (Nr. 2)
- Schwierigkeitsstufe 3: Drosselrückschlagventil ist geschlossen (Nr. 3)

- Schwierigkeitsstufe 4: T-Stück an 2.1 Arbeitsleitung, Power des Impulsventils und Drosselrückschlagventil angeschlossen (Nr. 4)
- Schwierigkeitsstufe 5: Signalleitung 2.2 und 2.3 vertauscht (Nr. 5)

Abbildung 7: Praktische Fehlersuche



4.2.3.1.1 Arbeitsprotokoll

Während der praktischen Fehlersuche führten die Schüler ein Arbeitsprotokoll (siehe Anhang C) zur Erfassung der bewusst gefundenen Fehler und ihrer Ursachenbeschreibung. In das Arbeitsprotokoll trugen sie ihren Namen ein sowie wann (Uhrzeit), wie (Wege der Fehlersuche) und welchen Fehler (Fehlerart) sie in der praktischen Schaltung gefunden hatten.

4.2.3.1.2 Zeichnung

Nach der Bearbeitung der Aufgabe erhielten die Schüler den Auftrag (siehe Anhang D), die Schaltung aufzuzeichnen, so wie sie sie im Kopf hatten. Dies geschah zur Erfassung des mentalen Repräsentationsformates und der Vollständigkeit und Korrektheit des mentalen Modells. Den Schülern wurde freigestellt, wie sie die Schaltung darstellen wollten, z. B. mit richtigen Normsymbolen, abstrakten, frei erfundenen Symbolen mit Bezeichnungen oder als Zeichnung mit realen Komponenten. Die Instruktion für die Zeichnung zur praktischen Problemlöseaufgabe wurde schriftlich vorgegeben und lautete: „Sie haben soeben eine pneumatische Schaltung bearbeitet. Wir möchten Sie nun bitten, diese Schaltung, so wie Sie sie im Kopf haben, auf diesem Blatt aufzuzeichnen. Es geht nicht darum, dass Sie die Zeichnung mit den richtigen Symbolen anfertigen. Bitte

Die Aufgabe bestand analog der praktischen Fehlersuche darin, fünf Fehler in einem symbolbasierten Schaltplan zu finden. Die Funktionsweise der Schaltung war in vier Schritten beschrieben (siehe Anhang F). Den Schülern standen keine Austauschkomponenten zur Verfügung. Sie sollten die Fehler und die korrekten Komponenten oder Verbindungen notieren. Die Schüler hatten zur Lösung der Aufgabe so lange Zeit, wie sie benötigten. Als Richtwert waren 15 Minuten kalkuliert.

- Schwierigkeitsstufe 1: Fehlerhafte Bezeichnung der Komponentenverbindung, d. h. 2.4 statt 2.3 (Nr. 2)
- Schwierigkeitsstufe 2: Steuerleitung S2 nicht an 5/2-Wege-Ventil 2 angeschlossen, sondern am T-Stück (Nr. 4)
- Schwierigkeitsstufe 3: Steuerleitung S1 falsch an 5/2-Wege-Ventil 2 angeschlossen (Nr. 3)
- Schwierigkeitsstufe 4: Zeitverzögerungsventil 2.4 in Ruhestellung geöffnet statt geschlossen (Nr. 1)
- Schwierigkeitsstufe 5: Drosselrückschlagventil 1.4 falsch herum angeschlossen (Nr. 5)

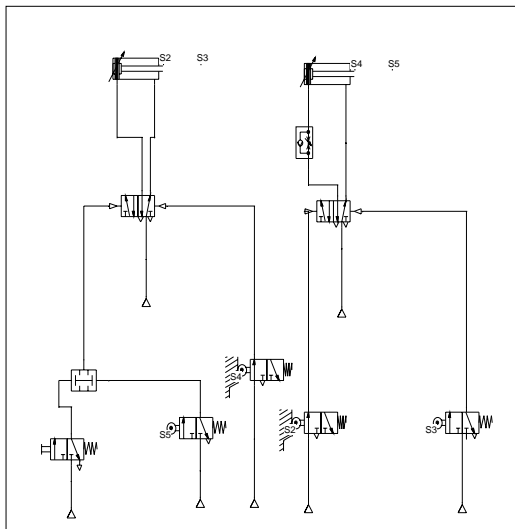
60

Schwierigkeitsgraden und Verknüpfungsmöglichkeiten verwendet wurden. Die Transparenz ist bei der symbolbasierten Fehlersuche etwas höher als bei der praktischen Fehlersuche, da sich anhand der Symbole die Komponentenstellung erkennen lässt. Die erhöhte Transparenz nimmt durch den Tatbestand ab, dass die symbolbasierte Fehlersuchaufgabe mental simuliert werden muss, um Fehler zu finden. Ausserdem lassen sich Komponentenstellungen durch einen realen Systemtest in der praktischen Fehlersuchaufgabe analysieren. Der Grad des Vorhandenseins von austauschbaren Komponenten ist in der praktischen Fehlersuche limitiert (3 Komponenten). In der symbolbasierten Fehlersuchaufgabe lassen sich so viele Komponenten austauschen, wie der Schüler für nötig hält, wobei er diese als Symbole selber zeichnen oder namentlich nennen muss.

4.2.3.3 Konstruktionsaufgabe

Die Aufgabe bestand darin, einen Schaltplan für eine Schaltung zu konstruieren, welche die Funktion „Spannen – Ziehen“ erfüllen sollte. Die Abbildung 9 zeigt die richtige Lösung.

Abbildung 9: Lösung der Konstruktionsaufgabe



In der Schaltung werden mit Hilfe einer Zange und eines Positionszyinders Maschinenteile auf ein Förderband gezogen (siehe Anhang H).

Den Schülern wurden die Ausgangslage und die Funktionalität der Schaltung in vier Schritten in Textform vorgegeben. Zusätzlich erhielten sie das entsprechende Weg-Schritt-Diagramm. Die Schüler hatten zur Lösung dieser Aufgabe 14 Karten mit ausgedruckten Schaltsymbolen. Davon wurden für die möglichen Lösungen 9 bis 10 benötigt. Die Karten

mussten auf ein Arbeitsblatt geklebt und die Verbindungen und Nummerierungen mit einem Stift eingezeichnet werden. So ist die Art der Aufgabenlösung am besten mit dem Arbeiten an einer Konstruktionssoftware (FluidSim) zu vergleichen. Die Schüler konnten den Zeitpunkt der Abgabe der Konstruktionsaufgabe frei wählen. Als Richtwert waren 15 Minuten kalkuliert.

4.2.4 Interviewleitfaden

Die Bearbeitung der praktischen und symbolbasierten Fehlersuche wurde mit den Schülern direkt im Anschluss mit Hilfe eines Interviewleitfadens besprochen. Das Ziel der Interviews bestand darin, mentale Modelle und Problemlösestrategien am Verhalten orientiert zu erfassen. Die Verwendung verbaler Daten ist ein angemessenes Verfahren, da die Bearbeitung der praktischen und symbolbasierten Fehlersuche eine explizite Manipulation mentaler Modelle impliziert, was den inhaltlichen Bezug und die Genauigkeit verbaler Angaben verbessert (Rouse & Morris, 1986).

Die Problemlösestrategien lassen sich in Problemlösesituationen nicht direkt beobachten, sondern nur aus Verhaltensmerkmalen oder Verhaltenskommentaren erschliessen (Dörner, 1974). Auf der einen Seite wurden für die symbolbasierte Fehlersuche ausschliesslich Interviewdaten (Verhaltenskommentare) für die Extraktion von Problemlösestrategien verwendet, da keine reale Manipulation mit dem Schaltplan möglich war. Auf der anderen Seite wurden in der praktischen Fehlersuche basierend auf den Videodaten Verhaltenskategorien erhoben (siehe Kapitel 7.5) und in Verbindung mit den Interviewdaten (Verhaltenskommentare) Problemlösestrategien abgeleitet.

Als Gedächtnisstütze wurde den Schülern beim Interview über die symbolbasierte Fehlersuche die Aufgabenstellung mit Schaltplan vorgelegt.

Beim Interview über die praktische Fehlersuche wurden Sequenzen als Selbstkonfrontation (Kalbermatten, 1982) nach dem „event sampling“ Verfahren (Fassnacht, 1995) ihres auf Video aufgenommenen Lösungsprozesses vorgespielt und besprochen. Um möglichst unterschiedliche Bereiche des Problemlösens zu erheben, wurden der Aufgabenanfang, das Finden des ersten Fehlers und die Lösung der Aufgabe als Material ausgewählt. Für die Vorstudie wurde ein halbstandardisierter Interviewleitfaden (Bortz & Döring, 1995) entwickelt.

Dieser Interviewleitfaden erhielt für die Hauptstudie eine ausführliche Überarbeitung und Erweiterungen um Elemente der „critical incidents technique“ (Flanagan, 1954) und des „behavioral event interview“ (Spencer & Spencer, 1993), da sich in der Vorstudie zeigte,

dass die Schüler Schwierigkeiten hatten, ihr Vorgehen und ihre Gedanken in spezifischer Form zu beschreiben.

Die Fragen begannen offen und wurden spezifiziert, wenn die Antworten zu allgemein ausfielen. Das Verfahren der Rekonstruktion von kognitiven Prozessen mit Befragung wurde der Methode „Lautes Denken“ vorgezogen, weil dieses den Problemlöseprozess beeinflusst (Deffner, 1989; Knoblich & Rhenius, 1995).

Die folgenden Fragen wurden mit den Schülern besprochen:

Aufgabenlösungsprozess/mentale Prozesse

- Wie sind Sie/bist Du an die Aufgabe herangegangen?
- Was waren Ihre/Deine Ziele?
- Was hatten/hattest Sie/Du im Kopf, als Sie/Du mit der Schaltung gearbeitet haben/hast?
- Welche Gedanken, Ideen oder Annahmen gingen Ihnen/Dir hier durch den Kopf?

Aufgabenbeurteilung/kritische Ereignisse

- Was war einfach für Sie/Dich bei dieser Aufgabe?
- Was war schwierig (das Schwierigste) für Sie/Dich bei dieser Aufgabe?

Veränderungen im Vorgehen nach Aufgabenlösung unter Zuhilfenahme von anderen Lernsystemen

- Gibt es etwas, was Sie/Du anders machen würden/würdest, wenn Sie/Du die Aufgabe jetzt noch einmal bearbeiten müssten/müsstest?
- Wie wären/wärest Sie/Du an die Aufgabe herangegangen, wenn Sie/Du FluidSim/CLEAR/die realen Komponenten [je nach Gruppe] zur Verfügung gehabt hätten/hättest?

Allgemeines Vorgehen

- Beschreibe(n) Sie/Du in wenigen Sätzen, wie Sie/Du Aufgaben im Allgemeinen lösen/löst!

4.2.5 Erfassen der mentalen Modelle

Die Kategorien der mentalen Modelle wurden in einem iterativen Prozess zwischen theoretischen Vorüberlegungen und Interviewauswertungen entwickelt und anschliessend auf das gesamte Datenmaterial angewendet.

Die Erstellung des Kategoriensystems erfolgte in mehreren Schritten nach der Methode von Mayring (1997) und den Vorgaben von Flick (1995, 1996).

1. Entstehung, Charakteristika und Festlegung des Materials

Mit einer Teilstichprobe von $N = 32$ wurde direkt nach der praktischen und symbolbasierten Fehlersuche ein Interview (siehe Kapitel 4.2.4) geführt. Darin beschrieben die Schüler ihre Kognitionen während der Aufgabenlösung retrospektiv. Die Schülersauswahl erfolgte systematisch nach ihrer Leistungsfähigkeit während des Unterrichts im Sinne einer Parallelisierung zwischen guten, mittleren und schlechten Schülern. Das Interview wurde in Englisch oder Deutsch gehalten und auf einer Minidisk aufgezeichnet. In Portugal standen für alle Interviews Dolmetscher zur Verfügung. Sämtliches Material wurde anschliessend transkribiert. Dabei entstanden 184 Seiten Transkript in der praktischen Fehlersuche und 156 Seiten Transkript in der symbolbasierten Fehlersuche.

2. Fragestellungen der Analyse

Der Arbeit wurde die folgende Forschungsfrage zugrunde gelegt: Welche *Auswirkungen* hat Multicodalität in Form verschiedener *Symbolsysteme* (Bilder, Zeichnungen, Texte etc.) und Multimodalität in Form verschiedener *Handlungsarten* und *Gegenständlichkeiten* (real-gegenständlich/mausvermittelt/kombiniert) auf den Lernoutput?

Für die Entwicklung von mentalen Modellen wurden spezifische Forschungshypothesen ausgestellt, die dem Kapitel 1 entnommen sind.

- Real-gegenständliche, symbolbasierte bzw. gemischte Lernformate führen zu entsprechenden analogen mentalen Repräsentationen (Rost & Strauss, 1993; Steiner, 1988; Bruner & Haste, 1987).
- Multicodierung (real-gegenständlich und symbolbasiert) von Informationen führt zu einer höheren Wissensverknüpfung und spiegelt sich in komplexeren Erklärungsstrukturen wieder (Baddely, 1998; Engelkamp, 1991).
- Real-gegenständliches Training führt zu mehr vollständigen mentalen Modellen als symbolbasiertes Training (Oesterreich & Köddig, 1995).

3. Lesen des Materials

Im ersten Schritt wurden alle Interviews gelesen und auf Lücken untersucht. Anschliessend wurden erste Hypothesen für mögliche Kategorien mentaler Modelle im Pneumatikkontext entworfen.

4. Strukturierung des Datenmaterials

Die Interviewdaten wurden einer inhaltlichen Strukturierung (Mayring, 1997) unterzogen. Das bedeutet, dass nur bestimmte Merkmale mentaler Modelle den Interviews entnommen wurden. So entstanden konstruierte Codes (Flick, 1996), die nicht explizit von den interviewten Schülern stammen, sondern vom Auswertenden. Die zwei Bereiche der Merkmalsherkunft – datengeleitet und theoriegeleitet – werden unterschieden. Die datengeleiteten Kategorien ergaben sich beim Lesen und Bearbeiten der Interviews während des Herausarbeitens zentraler Beschreibungsmerkmale. Diese Merkmale wurden anschliessend nach Gemeinsamkeiten zusammengelegt und zu den Kategorien funktionale Erklärungsstruktur, Komponenten-, Aufgabenformats-, Simulationsschwierigkeiten und gewünschte Unterstützung zusammengefasst. Die folgenden Kategorien wurden aus den Theorien (vorgestellt in Kapitel 1) über mentale Modelle abgeleitet und am Datenmaterial konkretisiert: Repräsentationsformat, operationale Erklärungsstruktur, Simulation, Vollständigkeit der mentalen Modelle und Analogien.

Die Erstellung aller Kategorien erfolgte in drei Schritten (Ulich, Hausser, Mayring, Strehmel, Kandler & Degenhardt, 1985):

I. Kategorien definieren

- Je nach Herkunft der Kategorien – theorie- oder datengeleitet – wurden die angegebenen Merkmale aus der Literatur übernommen oder eigene Definitionen vorgenommen.

II. Ankerbeispiele identifizieren

- Die Ankerbeispiele sind direkt dem Interviewmaterial entnommen und unverändert. Es fanden also keine Um- oder Reformulierungen der verschiedenen Aussagen statt.

III. Codierregeln formulieren

- Die Codierregeln ermöglichen eine weitgehend eindeutige Zuordnung der verschiedenen Interviewaussagen in die einzelnen Kategorien.

In dieser Untersuchung ist zentral, dass bei den zu codierenden Textsequenzen der jeweilige Gedankengang eines Schülers unter Einbezug der gestellten Frage codiert wurde. So wurden unterschiedlich lange Textsequenzen codiert.

Jede verbale Aussage konnte grundsätzlich verschiedenen Kategorien zugeordnet werden, z. B. der Erklärungsart (operational/funktional) und dem verwendeten Repräsentationsformat (z. B. symbolisch).

Reine Verhaltensbeschreibungen der Schüler und Reformulierungen der Funktionsabfolge auf der Basis der Aufgabenstellung wurden nicht als Beschreibung kognitiver Prozesse codiert.

Einzelne Kategorien enthalten Unterkategorien, die eine qualitative Abstufung der Oberkategorie darstellen. Die Zuordnung des Textmaterials erfolgte in diesen Fällen auf der Ebene der Unterkategorien.

5. Erster Materialdurchlauf mit dem erstellten Kategoriensystem

Zuerst wurde zusammen mit Herrn Windlinger das so erstellte Kategoriensystem für mentale Modelle an einem Teil des Interviewmaterials getestet und in der Lizentiatsarbeit (Windlinger, 2001) dokumentiert. Der Übereinstimmungskoeffizient für das gesamte Kategoriensystem betrug $\kappa = .63$ (Kappa-Koeffizient). Wirtz & Caspar (1994) stufen .50 für schwer erfassbare Merkmale als zufriedenstellend ein. Aus den gewonnenen Ergebnissen wurde das Kategoriensystem überarbeitet und präzisiert.

6. Zweiter Materialdurchlauf mit dem überarbeiteten Kategoriensystem

Das überarbeitete Kategoriensystem wurde zur Berechnung der Interraterreliabilität von zwei Ratern an 15% des gesamten Materials getrennt voneinander geratet. Der erneut berechnete Übereinstimmungskoeffizient lag nun bei $\kappa = .72$ (Kappa-Koeffizient) und kann als gut eingestuft werden. Anschliessend wurden die Kategorien und Zuordnungsregeln bei Abweichungen nochmals präzisiert.

7. Dritter Materialdurchlauf: mit dem endgültigen Kategoriensystem

Im dritten Durchlauf fand die Einstufung des gesamten Interviewmaterials der praktischen und der symbolbasierten Fehlersuche durch den Autor zu folgenden Kategorien statt (siehe Kapitel 4.2.5.1 bis Kapitel 4.2.5.8). Für ein besseres Verständnis des Kategoriensystems wurden bei den Ankerbeispielen an manchen Stellen - in Klammern - eine Präzisierung durch den Autor eingefügt.

4.2.5.1 Repräsentationsformat

Das Repräsentationsformat stellt die Art der internen mentalen Repräsentation der Schaltung während der Aufgabenbearbeitung dar. Das Repräsentationsformat kann entweder real-bildlich (echte Komponenten), symbolisch (Zeichensymbole) oder gemischt (real-bildlich und symbolisch) sein. Das textliche Format (Bruner & Haste, 1987) wurde in den ersten beiden Materialdurchläufen nicht codiert und deshalb aus dem Kategoriensystem entfernt. Hinweise auf andere Formate wurden nicht gefunden.

Unterkategorien

1. real-bildlich
2. symbolisch
3. gemischt

Ankerbeispiele

- **real-bildlich:** „I visualized it in 3D ... in real components.“, „Die (Komponenten) stell ich schon mal im Kopf vor, wie das in Realität aussehen würde.“
- **symbolisch:** „I tried to imagine the scheme.“, „Im Kopf hinten drin hatt ich immer das FluidSim.“
- **gemischt:** „It is a bit symbolic and it is a bit the actual component.“, „The pistons were recognized as a symbol where as the switch as a picture of an actual switch.“

Codierregeln

- Das Repräsentationsformat wird zugeordnet, wenn es explizit benannt ist oder sich aus dem Kontext der Beschreibungen des Schülers erschliessen lässt.
- Die Formate werden nur einmal codiert, auch bei Mehrfachnennungen innerhalb des Interviews, da dadurch keine zusätzlichen Informationen gewonnen werden.
- Für die Bestimmung des Repräsentationsformates sind insbesondere Textpassagen wichtig, in denen der Schüler beschreibt, wie er sich den Schaltungsablauf und die Funktionsweise von Komponenten vorstellt bzw. wie er versucht, einen Fehler zu finden und zu beheben.
- Liegt die Betonung der Aussage auf dem Vorstellen von Zustandsänderungen in der Schaltung, so wird der Textabschnitt zusätzlich als mentale Simulation codiert.

4.2.5.2 Erklärungsstrukturen

I. operationale Erklärungsstruktur

Operationale Erklärungen stellen Aussagen über Ursache-Wirkungsbeziehungen ohne Begründung dar (wenn-dann-Erklärungen). Dabei wird zwischen inhaltlich richtigen und falschen Erklärungen unterschieden. Jede operationale Erklärung enthält eine bestimmte Anzahl (Umfang) pneumatischer Komponenten, z. B. Komponentenpositionen (an/aus) und Schaltertypen.

Ankerbeispiele

- **Umfang 1/richtig:** „When it was power open, the air supply was coming through.“, „Wenn er (Hauptschalter) in Ruhestellung geöffnet ist, dann brauch ich ihn ja gar nicht drücken.“
- **Umfang 2/richtig:** „It would have worked, if you'd just have taken the tubes straight from the start-valve to the valve, to the 5/2-way-valve.“, „Wenn er (Zylinder 1.0) dann einen Rollenhebel ... berührt, dann müsste der andere (Zylinder 2.0) theoretisch eigentlich ausfahren.“
- **Umfang 3/richtig:** „It should be an and-valve. It (and-valve) was to make it advance when the push-button and the roller-lever were connected.“, „Wenn der eine Rollentaster betätigt ist, dann betätigt man den anderen Handtaster, da müsste eigentlich ein „UND“ rein, über das „UND“ wird er (5/2-Wege-Ventil) geschaltet.“
- **Umfang 4/richtig:** „When the 2.2 is pressed, roller-lever 2.2 would allow pressure into the 2.1 5/2-way-valve, which would allow pressure into the input of cylinder 2, which is forced out, which would then push 2.3 and 2.3 would pressure the other input of the 2.1 5/2-way-valve which would force the cylinder back in then.“, „Also wenn dieses Rollenventil am Zylinder 2.0...berührt wird, dann müsste das Ventil (5/2-Wege-Ventil) angesteuert werden, um...Zylinder (1.0) wieder einfährt.“

Codierregeln

- Die Aussagen werden als operationale Erklärungen codiert, wenn ausschliesslich wenn-dann-Beziehungen ohne weitere Erklärungen abgegeben werden.
- Wird eine Erklärung mit etwas anderen Worten wiederholt, so wird diese nur einmal codiert.
- Das zu analysierende Textsegment ist jeweils eine Textpassage, die nicht durch weiteres Nachfragen des Interviewers unterbrochen ist.

- Wenn Hinweise auf Simulationen, d. h. dynamische Systemveränderungen, vorhanden sind, wird die Aussage zusätzlich der Kategorie Simulation zugeordnet.
- Der Umfang einer operationalen Erklärung ergibt sich aus der Summe der Komponenten, die in Ursache-Wirkungszusammenhängen beschrieben werden.

II. funktionale Erklärungsstruktur

Funktionale Erklärungen beinhalten sowohl eine Ursache-Wirkungsbeziehung (wenn-dann-Operatorenssequenz) als auch ein Begründungselement (weil-Erklärung). Dabei wird zwischen inhaltlich richtigen und falschen Erklärungen unterschieden. Jede funktionale Erklärung enthält eine bestimmte Anzahl pneumatischer Komponenten (Umfang).

Ankerbeispiele

- **Umfang 1/richtig:** „T-junction didn’t need to be there, because there was no sequence ahead at the same time“, „Das ist ein 5/2-Wege-Ventil mit Rückholfeder, das heisst man kann das einseitig mit Druck ansteuern, und in die Ausgangsposition geht es von alleine.“
- **Umfang 2/richtig:** „Using a timer, when this deposit will be filled with air the pressure will be the highest one and then it will activate this cylinder.“, „Ganz am Anfang ist er halt raus (Zylinder), weil der Schalter offen war, ist da sofort Druck draufgekommen und somit ist auch sofort Druck auf den Zylinder gekommen und somit ist er ausgefahren. Also muss ein andere Schalter rein, dass wenn ich dann drück, dass ich dann bestimmen kann, wann er ausfährt.“
- **Umfang 3/richtig:** „Because the second stayed were it was there (Endposition), that was making the air supply from that roller-valve got out into the and-gate which was feeding air there through the first piston. The first cylinder, to allow the piston to go out. So, it wasn’t just the bush-button switch that was already activating the piston.“, „Mir ist da klar geworden, dass der Zylinder jetzt ausgefahren war, aber den anderen Zylinder nicht betätigte. Was für mich erstmal zu schliessen war. Entweder wird das 5/2-Wege-Ventil des zweiten Zylinders nicht richtig angesteuert oder es wird nicht mit Druckluft versorgt. So, und dann hab ich dann erstmal nachgeguckt, wie die Leitungen überhaupt verlaufen.“

Codierregeln

- Textpassagen werden als funktionale Erklärungen codiert, wenn wenn-dann-Weil-Beziehungen genannt werden oder wenn zum Verständnis der Erklärungen eine implizite Erklärung angenommen werden muss.
- Wird eine Erklärung mit etwas anderen Worten wiederholt, so wird diese nur einmal codiert.
- Das zu analysierende Textsegment ist jeweils eine Textpassage, die nicht durch weiteres Nachfragen des Interviewers unterbrochen ist.
- Wenn Hinweise auf Simulationen, d. h. dynamische Systemveränderungen, vorhanden sind, wird die Aussage zusätzlich der Kategorie Simulation zugeordnet.
- Der Umfang einer funktionalen Erklärung ergibt sich aus der Summe der Komponenten, die in Ursache-Wirkungs-Begründungszusammenhängen beschrieben werden.

4.2.5.3 Art der mentalen Modelle

Unterschieden werden vollständige mentale Modelle, Modelle bestehend aus Subsystemen und Schritt-für-Schritt-Modelle.

Mit der Kategorie vollständige mentale Modelle werden diejenigen Modelle codiert, welche weitgehend die gesamte Schaltung umfassen. Der Schüler verbalisiert die gesamte Schaltungsabfolge in einer Beschreibungssequenz und bezieht sich häufig in seinen Erklärungen auf die Gesamtzusammenhänge der Schaltung.

Mentale Modelle als Subsysteme umfassen typischerweise zwei Teilsysteme, die entweder durch die zwei 5/2-Wege-Ventile oder die zwei doppeltwirkenden Zylinder voneinander abgegrenzt sind. Zum Teil werden auch Subsysteme bestehend aus Hauptschalter, Rollentaster und UND-Ventil bzw. ODER-Ventil gebildet.

Schritt-für-Schritt-Modelle schliesslich sind mentale Modelle, die nie als Ganzheit, sondern immer nur als die Verbindung von einzelnen Komponenten auftreten. Schüler verbinden in diesem Fall normalerweise zwei Komponenten zu einem Minimodell und simulieren dieses mental.

Unterkategorien

1. vollständiges Modell
2. Subsysteme
3. Schritt-für-Schritt-Modell

Ankerbeispiele

- **vollständiges Modell:** „Well I’ve got like a mental picture of what’s going on.“, „Das Ganze einfach so im Kopf durchgespielt.“
- **Subsysteme:** „I put it into sections.“, „I connected the and (-valve) to make the two simple circuits work together.“
- **Schritt-für-Schritt-Modell:** „I think how I am going to connect the component to command one components or another component. Step by step. Doing this than that.“, „Versuch dann immer Stück für Stück das im Kopf zusammenzubauen.“

Codierregel

- Es wird das gesamte Interview beurteilt, insbesondere ist der Umfang der Systembeschreibungen, wenn-dann- oder wenn-dann-weil-Erklärungen und die mentale Simulation zu berücksichtigen.

4.2.5.4 Simulation

Die mentale Simulation beschreibt einen mentalen Vorgang, bei dem inneres Probehandeln in Bezug auf den Ist-Zustand der pneumatischen Schaltung oder Vorhersagen über das Systemverhalten vorgenommen werden. Die mentale Simulation kann auf real-bildlicher oder symbolischer Repräsentation ablaufen. Es wird davon ausgegangen, dass der Schüler die Simulation mit dem für ihn beschriebenen Repräsentationsformat (siehe Kapitel 4.2.5.1) vornahm.

Ankerbeispiele

- **real-bildlich:** „I was thinking that there was no place for an or-valve in that circuit ... I needed an and-valve, because the cylinder only goes forward when I push the button and the cylinder is backwards.“, „In the first time I checked the circuit in my mind and the second was with air, to see it really works.“
- **symbolisch:** „I was imagining the pressure was going through the tubes and highlighting as it went along.“, „Wenn ich mir jetzt vorstelle, da ist’ne Druckluftquelle, da kommt jetzt Luft raus, wenn ich einschalte.“

Codierregel

- Die Kategorie wird zugeordnet, wenn das innere Probehandeln oder eine Systemverhaltensaussage getätigt wird.

4.2.5.5 Aufgabenformatsschwierigkeiten

Alle Angaben über Schwierigkeiten aufgrund des Aufgabenformats (real-bildlich/symbolisch), z. B. Verstehen von Schaltungszusammenhängen oder Schaltungsverknüpfungen, werden als Aufgabenformatsschwierigkeit codiert.

Ankerbeispiele

- **real-bildlich:** „On the computer I could take certain components out and replace them with different things easier than doing it with the actual components. It's easier to see where certain things go and you can actually check if it works.“, „Ja klar. Es war ein Tick auch einfacher gewesen, weil es war, es ist übersichtlich, FluidSim. Und in der Realität ist es unübersichtlich.“
- **symbolisch:** „If I have the real situation, it is easier than in the draw. This is more complicated with the symbols.“, „Just the fault finding on the diagram. I thought was difficult. You can't physically swap the wires around or move any of the components or anything like this.“

Codierregel

- Jede Äusserung, die sich auf Formatsprobleme für die Aufgabenbewältigung bezieht (symbolisch/real-bildlich), wird als solche codiert.

4.2.5.6 Simulationsschwierigkeiten

Alle Angaben über Schwierigkeiten mit der mentalen Simulation, welche die Lösung der Aufgabe beeinträchtigten, z. B. die Entwicklung einer Vorstellung über die Funktionsweise der Schaltung werden als Simulationsschwierigkeit bezeichnet.

Ankerbeispiel

- **Simulationsschwierigkeiten:** „I can't see things moving, it's really difficult for me.“, „Ne, das kan ich mir schlecht vorstellen. Damit habe ich meine Probleme.“

Codierregeln

- Nur Schwierigkeiten, die im konkreten Zusammenhang mit der mentalen Simulation stehen, werden als diese codiert.
- Rückschlüsse auf die mentale Simulation aufgrund von Umschreibungen im Sinne von allgemeinen Schwierigkeiten werden nicht codiert.

4.2.5.7 Komponentenschwierigkeiten

Komponentenschwierigkeiten sind Schwierigkeiten mit verschiedenen Komponenten in der pneumatischen Schaltung, z. B. verstehen wie eine Komponente funktioniert, den Ist-Zustand einer Komponente feststellen oder die Schläuche an die richtigen Ein- und Ausgänge anschliessen. Im Gegensatz zu Aufgabenformatsschwierigkeiten geht es in dieser Kategorie insbesondere um das Verstehen der Funktionsweise einer Komponente oder ihrer Anschlüsse.

Ankerbeispiele

- **5/2-Wege-Ventil:** „It was tricky. Especially the input and output of the controller cylinder (5/2-way-valve).“, „Mit dem Ventil (5/2-Wege-Ventil) bin ich nicht ganz klargekommen, weil man muss da alles umdenken.“
- **Schläuche:** „I was confused of which wire, I couldn't see which wire went where.“, „Es war schwer die einzelnen zu verfolgen, die einzelnen Kabel, die ganzen Leitungen da.“
- **T-Stück:** „Dieses T-Stück, das hat mich glaub ich ein bisschen arg durcheinander gebracht.“

Codierregel

- Alle Äusserungen, die sich auf Probleme mit einer Komponente beziehen, werden codiert. Die Anzahl an Problemen und die jeweilige Komponentenart werden codiert.

4.2.5.8 Unterstützung

Alle Äusserungen nach spezifischen Unterstützungen mittels Medien, Informationen oder Erklärungen, die die Bearbeitung der Aufgabe erleichtert hätten, werden codiert. Die gewünschte Unterstützung kann sich auf eine Komponente, auf das Hilfefenster (unspezifische Hilfe) oder das Aushändigen eines Schaltplans beziehen.

Unterkategorien

1. Erklärungen für Komponenten
2. Hilfefenster (unspezifische Hilfe)
3. Schaltplan

Ankerbeispiele

- **Erklärungen für Komponenten:** „I'll put the components on the help area. Any components that weren't working as expected. So, 5/2-valve, put in there and check that it was supposed to do. Which way the air direction was supposed to begin.“
- **Hilfefenster:** „We could make the connections quickly and if it don't work, we look for there (Helpsystem) and we are trying to understand why it isn't working.“
- **Schaltplan:** „If I had the drawing, I could see the connections.“

Codierregel

- Die Kategorie wird nur codiert, wenn der Schüler eine Unterstützung explizit benennt und wird nicht aus der Beschreibung von Problemen abgeleitet.

4.2.5.9 Analogien

Analogien sind symbol- oder bildbasierende Vergleiche von pneumatischen Elementen/Schaltungen mit anderen Themengebieten, die strukturelle oder funktionale Ähnlichkeiten aufweisen, wie z. B. ein Wasserschlauch oder elektrische Schaltpläne. Diese Ähnlichkeiten werden für das Problemlösen auf die Schaltung zurück übertragen.

Ankerbeispiele

- **Elektrik:** „That was when I, the part of electronics, the comparison with electronics.“, „I usually imagine the electric currence.“
- **rennendes Tier:** „like a hamster or something in the tube.“
- **Auto:** „It's the same thing; you have two cars in the same road going directly one to the other to crash.“
- **Wasser:** „It looks like water going down pipe.“
- **Schach:** „Das ist halt wie bei Schachmatt.“
- **Mathematik:** „I looked as if it was a mathematical cohesion.“

Codierregel

- Es muss aus dem Kontext erschlossen werden, ob es sich um eine anschauliche Erklärung handelt, die zur Lösung der Aufgabe herangezogen wird oder eine Beschreibung, die nicht für die Aufgabe verwendet wurde, sondern nur als Erklärung an den Interviewer gerichtet wurde.

4.2.6 Verhaltensprotokoll

Das Verhaltensprotokoll dient der Erfassung von Problemlösestrategiefacetten wie Veränderungsort, Komponentenwechsel und Systemtests (Simulation durch Anschalten der Druckluft) auf der Basis konkreter Verhaltenselemente. Die mit dem Protokoll erhaltenen Verhaltensdaten ermöglichen auf einer interpretativen und quantitativen Ebene Rückschlüsse auf das Problemlöseverfahren. Quantitativ lassen sich Aussagen über Folgendes gewinnen:

- Anzahl der Simulationen
- absolute und relative Veränderungshäufigkeiten (Effizienz des Vorgehens)
- Austausch von Komponenten/Veränderungsorte
- Anzahl loser Schläuche
- Lösungsdauer (Effektivität des Vorgehens)

Die quantifizierten Verhaltenselemente werden in Verbindung mit den jeweiligen Systemzuständen und der gewählten Vorgehensweise als Problemlösestrategien interpretiert.

Codierregeln

- Jede Systemveränderung wird durch eine fortlaufende Zahl von 1 bis n codiert.
- Mehrfaches Öffnen des Hauptschalters bzw. Druckknopfs wird mehrfach als Simulation codiert.
- Wird eine Komponente entfernt, so erhält die Zahl einen Unterstrich. Wird die Komponente wieder ins System eingebaut, so bekommt die Zahl ebenfalls einen Unterstrich. Bsp. 1
- Werden Schlauchverbindungen an einer Komponente getauscht (5/2-Wege-Ventil, Drosselrückschlagventil, Zylinder, T-Stück etc.), so wird die Zahl mit einem Oberstrich versehen. Bsp. 2
- Schlauchverbindung lösen und direkt wieder verbinden ohne Systemveränderung, z. B. simulieren, wird nicht codiert.
- Schlauch lösen und nicht verbinden wird einmal codiert und markiert, d. h., 1* bedeutet, dass ein Schlauch lose ist.
- Den losen Schlauch verbinden wird einmal codiert ohne Stern.
- Den Schlauch lösen und an eine andere Komponente verbinden wird zweimal codiert und zwar einmal am Ort der Entfernung und der Verbindung. Bsp. 1, 2

- Wenn ein Fehler gefunden wird, dann wird die Nummer direkt ins Fehlerfeld geschrieben.
- Unter Besonderheiten wird alles notiert, was dem Beobachter ins Auge fällt.

Datenerfassung

Jeder Komponentenwechsel (einmal codiert im Protokoll) muss am Ende der Protokollierung mehrfach, entsprechend der Anschlüsse gezählt werden, um sämtliche Handlungsschritte zu erfassen, d. h. Drossel, Hauptschalter mit jeweils zwei Anschlüssen vierfach, 5/2-Wege-Ventil mit fünf Anschlüssen zehnfach und ODER-Ventil, T-Stück mit jeweils drei Anschlüssen sechsfach.

Beispiel

Ein Beispiel ist in Abbildung 10 eingetragen und dient der Verdeutlichung des Protokollierungsprozesses.

Abbildung 10: Beobachtungsprotokoll für die Problemlösestrategien

Beobachtungsprotokoll Nr.		Schüler:	
Veränderungsort			
Druckleiste			
Rollentaster 1	Rollentaster 2	Rollentaster 3	Rollentaster 4
Zylinder 1		Zylinder 2	
3, 4			
Drossel 1		Drossel 2	
		6	
5/2-Wege-Ventil 1		5/2-Wege-Ventil 2	
Druckschalter 1	ODER-Ventil	T-Stück	
2			
Simulation	1, 5, 7		
Fehler behoben	1. Druckschalter ersetzt: 8; 2. ODER-Ventil ersetzt;; 3. Anschlüsse am zweiten 5/2-Wege-Ventil getauscht;; 4. T-Stück entfernt;; 5. Drossel eingestellt:		
Besonderheiten	z. B. Bauteile austauschen, Komponenten mit den Finger in Ruhestellung bringen, Zeichnung anfertigen etc.		
Zusatzkomponente			

Der Schüler startet die pneumatische Schaltung, indem er den Hauptschalter öffnet (1) und auf den Druckschalter drückt (2). Er tauscht die Schläuche am Zylinder 1 (3, 4) und simuliert die Schaltung (5). Daraufhin stellt er die Drossel (6) ein und simuliert nochmals (7) und so weiter.

4.2.7 Problemlösestrategien

Die Problemlösestrategien wurden schwerpunktmässig aus den Daten abgeleitet und mit Hilfe theoretischer Überlegungen systematisiert (siehe Kapitel 1). Dieses Vorgehen wurde gewählt, weil von stärker situationsspezifischen als generellen Strategien ausgegangen wird.

Die Codierungen der Problemlösestrategien für die praktische Fehlersuche stammen aus zwei verschiedenen Datenquellen (32 Interviews und 48 Videofilmen, je maximal eine Stunde).

Die Codierungen der Problemlösestrategien für die symbolbasierte Fehlersuche wurden nur aus Interviewdaten gewonnen (N = 32). Eine Videoaufzeichnung erschien aufgrund der Tatsache, dass keine Manipulationen (verschieben, austauschen, drehen etc.) mit den Symbolen möglich war, als wenig sinnvoll.

Der dargestellte idealtypische Problemlöseverlauf mit den jeweiligen Oberkategorien orientierte sich am im Kapitel 1.5 beschriebenen Problemlöseverfahren und diente als theoriegeleiteter systematisierender Rahmen für die Gewinnung der Problemlösestrategien.

- 1. Soll-Zustand der Schaltung:** Der Schüler stellt sich in dieser Phase die Funktionsabfolge mental vor und versucht die Schaltung zu verstehen, möglicherweise unter Einsatz von externen Medien, z. B. Schaltplan mit Symbolen, Teilskizze oder Weg-Schritt-Diagramm. Fast alle Schüler lesen dafür am Anfang die Aufgabenstellung mehrmals durch, um sich ein mentales Modell ihrer Funktionsweise zu machen.
- 2. Ist-Zustand der Schaltung:** In der Ist-Phase werden Schaltungsteile, Funktionsabläufe und der Luftweg bzw. der Ort der Luft untersucht. Der Schüler erarbeitet sich Hypothesen über den Ist-Systemzustand. Dies geschieht durch visuelle Exploration (Betrachten der Schaltung mit den Augen), haptische Exploration (Anfassen von Komponenten oder Verfolgen von Schläuchen), manipulierende Exploration (Verändern von Zylinderstellungen oder Ein- und Ausstecken von Schlauchverbindungen), vergleichende Exploration (Schüler wechseln regelmässig mit den Augen von Aufgabenblatt, Arbeitsblatt oder Zeichnung zur realen Schaltung) und

vergegenständlichende Exploration, in der der Schüler einen Schaltplan oder eine Teilskizze der vor ihr befindlichen realen Schaltung anfertigt. Die Exploration kann systematisch, z. B. vom Hauptschalter bis zur letzten Komponente der Schaltung, erfolgen oder mitten in der Schaltung beginnen und durch die ganze Schaltung verlaufen oder durch das Betrachten der Arbeitsleitungen und anschliessend der Signalleitungen gekennzeichnet sein. Beim unsystematischen Vorgehen springt der Schüler willkürlich von einem Element zum anderen. Aus der Exploration, d. h. der Situationsanalyse, ergibt sich der Suchraum für das Auffinden und Lösen von Fehlern.

3. **Betriebsbereitschaft:** Der erste Eingriff in die Schaltung besteht vorwiegend in der Betätigung des Hauptschalters, um Luft in das Gesamtsystem einzuspeisen.
4. **Schaltungseingriff:** Die Systemveränderungen unterteilen sich in den Ort der Veränderung, in konkrete Veränderungsmassnahmen in den Schlauchanschlüssen (wie z. B. Verbindungen lösen, erstellen und kontrollieren) sowie in Komponentenmanipulationen, d. h. Entfernen, Tauschen oder Einstellen von Bauteilen.
5. **Testen/Simulieren:** Die Simulation der Anlage erfolgte entweder durch Einschalten des Hauptschalters und/oder das Drücken des 3/2-Wege-Ventils (Druckschalter).
6. **Dokumentation:** Der Schüler notiert die gefundenen Fehler auf dem Arbeitsprotokoll.

Für die Analyse von Strategien/Strategieelementen wurde das gesamte Interviewmaterial einer zusammenfassenden Inhaltsanalyse (Mayring, 1997) unterzogen. Die Verdichtung jedes Interviews auf jeweils 1-2 Seiten Text diente der Extraktion von wesentlichen Merkmalen des Vorgehens beim Problemlösen unter Einbezug des theoriegeleiteten Rahmens. Die Interviews, die hohe Gemeinsamkeiten aufwiesen, wurden dann zu Strategien (Trial & Error-Strategie, Schritt-für-Schritt-Strategie, symptom-basierte Strategie) zusammengefasst.

Im zweiten Schritt wurden für jede Strategie jeweils zwei Videos mit dem Verhaltensprotokoll (siehe Kapitel 4.2.6) analysiert, um wesentliche Verhaltensunterschiede heraus zu arbeiten. Die Übereinstimmung zwischen der Zuordnung einer Strategie auf der Basis der Verhaltensunterschiede und der Interviews beträgt $\kappa = .75$, was als gut zu betrachten ist. Dies ermöglicht, die 16 Videos ohne Interviewmaterial den

jeweiligen Strategien auf Basis der zentralen Verhaltensunterschiede im Verhaltensprotokoll zuzuordnen. Den anderen Schülern ($N = 32$) wurde auf der Basis des Videomaterials und der Interviews eine Strategie zugeordnet. Der Übereinstimmungskoeffizient für die Interviewratings (zwei Experten) beträgt $\kappa = .64$ und ist als gut zu bewerten (Wirtz & Caspar, 1994). Die Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Verhaltensprotokollen von zwei Ratern beträgt $\kappa = .91$, was als hoch einzustufen ist und sich mit der starken Verhaltensverankerung erklären lässt.

In den folgenden Abschnitten werden die in der Hauptstudie gewonnenen Strategien detailliert beschrieben.

4.2.7.1 Trial & Error-Strategie

Die Trial & Error-Strategie zeichnet sich dadurch aus, dass der Problemlöser unsystematisch einzelne Systemkomponenten oder Verbindungen verändert und die Auswirkungen durch Simulation des Systems testet. Er hat weder konkrete Hypothesen über mögliche Fehlerursachen noch über die Konsequenzen seiner Veränderungsmassnahmen. Diese Strategie ist weiter dadurch charakterisierbar, dass keine systematische Situationsanalyse des Systems erfolgt, somit der Suchraum nicht spezifisch anhand bestimmter Überlegungen eingeschränkt wird. Dem Schüler fehlen angemessene Operatorenssequenzen für das Lösen der Aufgabe. Systemkonstellation und konkrete Symptome werden nicht kritisch bewertet und hinterfragt. Der Schüler erkennt aufgrund der Simulation, dass sich das System nicht so verhält, wie es sollte, kann aber keine Ursachenhypothesen aufstellen. Die Eingriffsorte für Veränderungsmassnahmen werden relativ willkürlich gewählt. Der Schüler springt von einem Systemelement zum anderen und wiederholt teilweise verschiedenste Veränderungsmassnahmen, die er schon einmal eingesetzt hat bzw. von denen er nicht mehr weiss, welche er schon getestet hat. Das Oberziel liegt in der Herstellung einer funktionierenden Schaltung. Die Unterzielbildungen des Schülers sind durch Versuch und Irrtum bestimmt.

Ankerbeispiele: Interview

- **ausprobieren:** „I took the tubing out and swapped a few things over, and I got cylinder 1 not working again.“, „Ja, durch knobeln, durch probieren.“, „So, I was just trying something else.“, „I was just messing around.“
- **kein spezifischer Suchraum:** „It was pretty much random selection to tempting it all.“
- **keine genaue Hypothesenbildung:** „So, I didn't know that, but I still couldn't figure out why it still wasn't working.“, „I couldn't see where it was going wrong on that

task.“, „I couldn't understand why.“, „I did not figure out where that gone wrong with the valve.“

- **mangelndes Systemwissen:** „I was like I don't know what I am doing.“, „Ich wusste überhaupt nicht wie das funktioniert, das 5/2-Wege-Ventil.“

Codierregel für das Interview

- Die Kategorie wird zugeordnet, wenn sich aus der Zusammenfassung zeigt, dass der Schüler wenig oder kein Wissen oder Hypothesen über die Fehlerursachen hat, ihm ein Systemverständnis in Bezug auf Schlauchverbindungen und/oder Komponenten weitgehend fehlt, er die Ausgangsstellung von verschiedenen Systemelementen nicht identifizieren kann und die Fehlerursachenanalyse nicht nach bestimmten Operatorenssequenzen verläuft.

Ankerbeispiele: Verhalten

- Der Schüler wechselt häufig und unsystematisch Verbindungen und Komponenten, die nicht im Zusammenhang mit den Fehlern stehen.
- Der Schüler nimmt sprunghaft Ortswechsel für die Veränderungen innerhalb der Schaltung vor.
- Der Schüler zeichnet sich durch sehr häufiges Simulieren aus.
- In vielen Fällen wird das System mit offenen Schläuchen simuliert.
- Der Schüler baut „wahllos“ verschiedene Komponenten ein und aus.

Codierregel für das Verhalten

- Das Beobachtungsprotokoll zeigt, dass die Veränderungsorte häufig gewechselt werden. Ausserdem werden Veränderungen selten rückgängig gemacht. Der Schüler nimmt viele sinnlose (nicht nachvollziehbare oder zielführende) Systemveränderungen vor. Er findet einen oder wenige Fehler. Aus dem Verhaltensprotokoll lässt sich keine Systematik erkennen. Im Verhaltensprotokoll zeigen sich häufig Veränderungswiederholungen.

4.2.7.2 Symptomatische Strategie

Die symptomatische Strategie ist dadurch gekennzeichnet, dass der Problemlöser am Symptom der Schaltung für den Problemlöseprozess ansetzt, d. h., der Suchraum wird durch das Symptom bestimmt. Im Suchraum nimmt der Schüler eine Ist-Analyse des

Systems vor und entwickelt Ursachenhypothesen über den Systemzustand, basierend auf dem Systemverhalten und dem eigenen Systemwissen. Wenn ein Symptom behoben ist, dann schreitet der Schüler weiter zum nächsten Symptom, welches sich aus der Diskrepanz zwischen Soll- und Ist-Zustand der Schaltung ergibt. Falls sich ein Symptom nicht direkt beheben lässt, geht der Schüler einen Schritt weiter in der Fehlersuche, basierend auf den folgenden Funktionsschritten, und kehrt anschliessend zum alten Symptom zurück. Man kann dies auch als eine Suchraumerweiterung beschreiben. Das Oberziel liegt in der Herstellung einer funktionierenden Schaltung. Die Unterziele sind durch die Behebung von Symptomen bestimmt, aus dem sich dann verschiedene Operatorenssequenzen ableiten.

Ankerbeispiele: Interview

- **Ist-Analyse:** „I powered the actual circuit up and had a look what actually was happening.“, „In this situation I tested the circuit for only the first cylinder.“
- **Symptomort:** „Testing the circuit to find out what piston was staying in and trying to think through, why the first one was staying out.“, „Ja, dort ist ein Fehler und ich dachte natürlich, wenn ich das dort umtausche, dann kann ich das beheben.“, „I was trying to see which one was controlling which. Whether it was going in the outstroke or the instroke of the piston.“, „I knew that the piston should not come out before you press the green button. So, I tried to find out why.“
- **richtige Systemhypothese:** „I saw that the detector, the roller-detector that should make the cylinder 1 go forwards was the detector that detects that the cylinder 1 is in and so I swapped it.“

Codierregel für das Interview

- Die Kategorie wird vergeben, wenn sich im Interview zeigt, dass der Schüler sich an den Symptomen der Schaltung orientiert und versucht, diese zu beheben. Veränderungen werden insbesondere in der Nähe des jeweiligen Symptoms vorgenommen. Die Veränderungen kann der Schüler richtig erklären. Die funktionalen (wenn-dann-weil) oder operationalen (wenn-dann) Erklärungen sind häufiger falsch. Sind sämtliche Erklärungen falsch bzw. behebt der Schüler das Symptom nicht, so wird die Kategorie Trial & Error-Strategie codiert.

Ankerbeispiele: Verhalten

- Die Eingriffsorte liegen meistens in der Nähe von den Symptomen.

- Die Auswahl der Veränderungsorte erfolgt, da er sich an den Symptomen orientiert, häufig nach einer Simulation.
- Wenn durch eine Veränderung ein neues Symptom entsteht, versucht der Schüler dieses zu beheben, wobei es nicht unbedingt bedeutet, dass er die letzten Handlungsschritte rückgängig macht.
- Wenn ein Symptom behoben ist, dann geht der Schüler einen Schritt weiter, wobei er nicht den Schläuchen folgt, sondern dem neuen Systemverhalten, d. h. dem nächsten Symptom.

Codierregel für das Verhalten

- Der Schüler zeichnet sich durch symptomatisches Vorgehen aus, wie in den Verhaltensbeispielen beschrieben.

4.2.7.3 Schrittweise Strategie

In der schrittweisen Strategie kontrolliert der Problemlöser das System von einem beliebig gewählten Startpunkt aus und geht das gesamte System dann schrittweise durch. Seine Hypothesen bildet er auf der Grundlage eines mentalen Abbildes oder auf der Basis des durch Simulation gewonnenen Zustandswissens über das System. Jede Schlauchverbindung und Komponente wird kontrolliert und mit dem Aufgabenblatt bzw. dem mentalen Abbild verglichen, d. h., der Schüler hat entweder ein vollständiges Referenzbild oder Teilsystemreferenzbild. In den meisten Fällen beginnt der Schüler am Startknopf der Schaltung und kehrt dorthin auch wieder zurück. Das Oberziel ist die Herstellung einer funktionsfähigen Schaltung. Die Teilziele liegen in der schrittweisen Kontrolle der Komponenten und ihrer Verbindungen.

Ankerbeispiele: Interview

- **mentales Model:** „Ja, ich hab‘ versucht, sag‘ ich mal die ganze Schaltung im Kopf erst mal zu verstehen, was hier überhaupt gemacht worden ist.“
- **logische Abfolge:** Ja, halt die logische Reihenfolge der Bausteine. Halt, was passiert, wenn das angeht. Halt, die Folge der Arbeitsschritte sozusagen in der Schaltung, eigentlich verfolgt und dann bin ich darauf gekommen, dass da irgendwie überprüfen sollte.“

- **Reihenfolge:** „Ich hab‘ versucht erst mal, ja mir vorzustellen, wenn das jetzt läuft, muss dass dieser Komponente so laufen, damit dieser Komponente so läuft, also Schritt für Schritt.“

Codierregel für das Interview

- Die Kategorie wird codiert, wenn der Schüler wenig Interesse an den direkten Symptomen zeigt und die Schaltung sehr systematisch schrittweise kontrolliert. Der Schüler liest die Aufgabenstellung mehrmals durch. Er kontrolliert die Anschlüsse mit den Symbolen auf den Komponenten. Ebenso erfolgt eine schrittweise Beschreibung der Schaltungsabfolge und der notwendigen Verbindungen. Der Schüler hat ein vollständiges mentales Modell der Schaltung oder ein Schritt-für-Schritt-Modell, welches als Referenz für die Fehlersuche verwendet wird.

Ankerbeispiele: Verhalten

- Der Schüler geht die Schaltung schrittweise durch und beachtet die Schaltsymbole auf den Komponenten.
- Der Schüler wählt den Starttaster als Anfangspunkt.
- Der Schüler durchläuft die Schaltung oder bestimmte Abschnitte mehrmals.
- Es ist deutlich erkennbar, dass der Schüler sequenzweise versucht, die Schaltung zu lösen bzw. die Fehler zu finden.

Codierregel für das Verhalten

- Identifikation der Veränderungsorte und Reihenfolge der Eingriffe anhand der Beobachtungsprotokolle.
- Klare Schrittfolge und hohe Systematik erkennbar.

Es lässt sich festhalten, dass für die qualitativen Lerneffekte mentale Modelle mit den Kategorien Repräsentationsformat, Erklärungsstruktur, Art der mentalen Modelle, Simulation, Aufgaben-, Simulations-, Komponentenschwierigkeiten, Unterstützung und Analogien und drei verschiedene Problemlösestrategien (Trial & Error-Strategie, schrittweise Strategie, symptom-basierte Strategie) erhoben wurden.

5 Vorstudie

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Vorstudie und die abgeleiteten Massnahmen für die Hauptstudie vorgestellt.

Für die einfachere sprachliche Beschreibung der Auswertungen werden die Ergebnisse folgendermassen vorgestellt: „Die Gruppen (reale Gruppe, FluidSim-Gruppe, CLEAR-Gruppe) unterscheiden sich nicht in der Ausprägung der Variable x“, bedeutet, dass sich die Schüler der Gruppe nicht in der Ausprägung der Variable x unterscheiden. Die Aussagen beziehen sich somit immer auf die individuelle Leistung der Schüler in den Gruppen und nicht auf eine Gruppenleistung.

In der Vorstudie wurde das Untersuchungsdesign (siehe Tabelle 9) an zwei Berufsschulen und zwei Colleges am ersten CLEAR-Prototyp erprobt. Ziele der Vorstudie waren, den Versuchsaufbau zu testen und zwar in Bezug auf die Durchführbarkeit der Untersuchung (Praktikabilität), die Standardisierbarkeit des Unterrichts zwischen den Schulen in unterschiedlichen Ländern (Realisierbarkeit) und die Untersuchung der eingesetzten psychologischen Tests (Nützlichkeit). Da der erste CLEAR-Prototyp hinsichtlich Objekt- und Schlaucherkennung relativ instabil und in einigen Benutzerfreundlichkeitsaspekten zu bemängeln war, dienen die Ergebnisse der Vorstudie nach neun Monaten Projektlaufzeit insbesondere der Gewinnung erster Hypothesen und Ergebnisse über mögliche Auswirkungen von CLEAR und den anderen Lernmedien.

In der Vorstudie wurde auf Empfehlung der Schweizerischen Berufsberatung der Konzentrationsfähigkeitstest d2 (Brickenkamp, 1972) verwendet, der unter den Instrumenten in Kapitel 4.2 nicht aufgeführt ist. Da der d2 nur eine signifikante Korrelation mit logischem Denken und keine signifikanten Korrelationen mit Pneumatikwissen und praktischer Fehlersuche aufweist (siehe Kapitel 5.2) kam er in der Hauptstudie nicht zur Anwendung.

Im Vortest 1 wurden vier Wochen vor Beginn des Unterrichts die kognitiven Tests von den Schülern ausgefüllt und anschliessend vom Untersuchungsleiter ausgewertet. Auf der Basis des MTP (physikalisch-technischen Problemverständnisses) erfolgte die parallelisierte Zuteilung in vier verschiedene Gruppen (reale Gruppe, FluidSim-Gruppe,

CLEAR-Gruppe und Kontrollgruppe). Am Freitag vor Kursbeginn erfolgte im Vortest 2 die Erfassung des Vorwissens und der Motivation. Der Unterricht wurde in allen Gruppen für die spätere Analyse der Vergleichbarkeit vollständig auf Video aufgezeichnet. Nach dem Kurs füllten die Schüler einen Wissenstest aus und absolvierten eine praktische Fehlersuche unter der Verwendung eines Arbeitsprotokolls und eines Interviews mit Videokonfrontation (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Untersuchungsdesign der Vorstudie

Vortest 1	Vortest 2	Prozessphase	Nachtest
Kognitive Tests <ul style="list-style-type: none"> Konzentrationsfähigkeit räumliches Vorstellungsvermögen physikalisch-technisches Problemverständnis logisches Denken 	<ul style="list-style-type: none"> Vorwissenstest in Pneumatik Motivationsfragebogen 	<ul style="list-style-type: none"> Videoaufzeichnung des Unterrichtes zur Kontrolle der Standardisierung 	Fachwissen <ul style="list-style-type: none"> Test in Pneumatik Praktische Kompetenz <ul style="list-style-type: none"> reale Fehlersuchaufgabe mit Arbeitsprotokoll, Videoaufzeichnung und Interview

5.1 Stichprobe

Insgesamt nahmen 91 BerufsschülerInnen (89 Männer und 2 Frauen) an der Vorstudie teil. Von der Gesamtstichprobe wurden die Daten der folgenden Schüler nicht in die Auswertungen einbezogen:

- Die FluidSim-Gruppe (n = 4) aus England, da sie aufgrund eines Missverständnisses während der 16 Stunden Unterricht sowohl mit FluidSim als auch den realen Komponenten arbeitete und ausschliesslich simulationsbasiertes Training somit nicht gegeben war.
- Diejenigen aus der Kontrollgruppe (n = 8), die nicht an den beiden Theorietests teilgenommen haben. Die Schüler der Gruppe sind zum zweiten Theorietest nicht mehr erschienen.
- Alle diejenigen Schüler aus den drei Gruppen (reale Gruppe, n = 6; FluidSim-Gruppe, n = 3; CLEAR-Gruppe, n = 4), die entweder den zweiten Theorietest oder die praktische Fehlersuche oder beides nicht absolviert haben. Dadurch ergeben sich für die unterschiedlichen Auswertungen teilweise kleine Veränderungen in der Anzahl an Schülern.

Die Daten von 66 Schülern wurden in die vollständige Auswertung aufgenommen.

Tabelle 10: Stichprobe: N und durchschnittliches Alter pro Gruppe

Gruppe	Alter		N
	M	SD	
Reale Gruppe	20.22	3.80	18
FluidSim	18.88	3.00	17
CLEAR	18.20	3.27	20
Kontrollgruppe	20.36	5.68	11

Die Schüler waren zum Untersuchungszeitpunkt im Durchschnitt 19 Jahre ($SD = 3$). Die Gruppen weisen keine signifikanten Altersunterschiede auf (ANOVA, $F(3,62) = 1.24$; $p > .30$; siehe Tabelle 10).

5.1.1 Kognitive Fähigkeiten

Die Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant in ihren kognitiven Fähigkeiten; physikalisch-technisches Problemverständnis: ANOVA, $F(3,62) = .23$; $p > .87$; räumliches Vorstellungsvermögen: ANOVA, $F(3,62) = .18$; $p > .91$; logisches Denken: ANOVA, $F(3,62) = 2.31$; $p > .09$; Konzentrationsfähigkeit: ANOVA, $F(3,62) = 1.35$; $p > .27$). Die Tabelle 11 zeigt die erreichten Testwerte in den Gruppen.

Tabelle 11: Kognitive Fähigkeiten innerhalb der Gruppen

Gruppe	Physikalisch-technisches Problemverständnis		Räumliches Vorstellungsvermögen		Logisches Denken		Konzentrationsfähigkeit		N
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	
Reale Gruppe	12.22	4.65	9.33	4.85	56.67	5.48	481.83	106.16	18
FluidSim	11.94	4.80	9.12	5.21	52.12	6.74	450.29	76.77	17
CLEAR	13.10	4.46	8.35	5.67	54.10	7.03	446.80	86.30	20
Kontrollgruppe	12.91	5.38	8.18	5.67	57.73	6.39	503.73	77.28	11

Legende: Maximale Punktzahl: physikalisch-technisches Problemverständnis 24 Punkte, räumliches Vorstellungsvermögen 17 Punkte, logisches Denken 80 Punkte und Konzentrationsfähigkeit 700 Punkte

Ausser in der Konzentrationsfähigkeit entsprechen die untersuchten Schüler bezüglich kognitiver Fähigkeiten den Durchschnittsschülern der Referenzgruppe des jeweiligen Tests (technische Berufsschüler). Die folgenden Daten zeigen die Punktzahlen und Percentile der Referenzgruppen:

- physikalisch-technisches Problemverständnis: 12 Punkte: 50% Percentil

- räumliches Vorstellungsvermögen: 8 Punkte: 50% Percentil
- logisches Denken: 55 Punkte: 50% Percentil
- Konzentrationsfähigkeit: 466 Punkte: 70% Percentil

Es handelt sich trotz der Selbstselektion – die Schüler nahmen an diesem Kurs freiwillig teil – um keine Stichprobe mit besonderen kognitiven Fähigkeiten. Die Ergebnisse können deshalb auf andere technische Berufsschüler übertragen werden.

5.1.2 Pneumatisches Vorwissen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Schüler über wenig pneumatisches Vorwissen verfügten (siehe Tabelle 12), und es zeigen sich keine signifikanten Gruppenunterschiede (ANOVA, $F(3, 63) = 2,30$; $p > .09$). Das ist eine gute Ausgangsbasis für die Durchführung des Unterrichts.

Tabelle 12: Pneumatisches Vorwissen in den Gruppen

Gruppe	Pneumatisches Vorwissen		
	M	SD	N
Reale Gruppe	18.00	14.66	17
FluidSim	14.26	7.80	17
CLEAR	17.16	12.91	19
Kontrollgruppe	7.36	5.74	11

Legende: Maximal 102 Punkte waren im Vorwissenstest erreichbar.

5.1.3 Motivation

Hinsichtlich der Motivation der Schüler zum Zeitpunkt der Vorstudie zeigt sich das folgende Bild (siehe Tabelle 13):

Die Schüler arbeiteten gerne mit realen Schaltungen und dem Computer. Sie interessierten sich für Pneumatik, arbeiteten aber in den Betrieben nicht an pneumatischen Anlagen und konnten somit ihr erlerntes Wissen nicht direkt in den Arbeitsalltag transferieren.

Sie hatten bisher wenig über die neuen Technologien („virtual reality“) gelesen bzw. im Fernsehen gesehen, interessierten sich aber für dieses Thema. Sie fanden die Kursleiter sympathisch. Die Motivation lässt sich insgesamt als hoch beschreiben.

Tabelle 13: Motivationsstruktur der Schüler

Items	M	SD	n
Pneumatik ist ein interessantes Thema.	3.98	.73	55
Ich arbeite in meinem Betrieb an pneumatischen Anlagen.	1.55	.80	53
Mit Hilfe von „virtual reality“ lerne ich besser Pneumatik.	3.53	1.10	47
Ich möchte „virtual reality“ kennen lernen.	3.79	1.02	56
Ich lerne gerne mit dem Computer.	4.12	1.02	57
Ich besuche mit einem/einen SchulfreundIn den Kurs.	3.31	1.67	55
Ich habe etwas über neue Technologien gelesen.	2.67	1.28	55
Ich habe über neue Technologien etwas im Fernsehen gesehen.	2.70	1.51	56
Der Kursleiter ist sympathisch.	4.16	.71	55
Ich experimentiere gerne mit echten Schaltungen.	4.05	.95	57

Legende: Fünfstufige Skala von 1 („gar nicht“) bis 5 („völlig“). Unterschiede in N aufgrund fehlender Angaben.

Im folgenden Abschnitt werden die Lernergebnisse der Gruppen vorgestellt.

5.2 Ergebnisse der Vorstudie

Der Fachwissenszuwachs ergibt sich aus der Differenz zwischen Vorwissenstest und Abschlusstest (siehe Tabelle 14). Die Lernsysteme führten zu keinen signifikanten Unterschieden (ANOVA, $F(2,50) = 1.56$, $p > .85$) im pneumatischen Fachwissenszuwachs. Die hohe Standardabweichung innerhalb der Gruppen ist auffällig. Sie ist überall grösser als die Standardabweichung zwischen den Gruppen. Dadurch ist es statistisch schwierig, signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen herauszuarbeiten. Der Wissenszuwachs der Kontrollgruppe (ohne Unterricht) ist sehr klein. Es liegen offensichtlich weder Wissenszuwachseffekte vor, die nicht durch den Pneumatikkurs bedingt sein könnten, noch deutliche Testeffekte durch das zweimalige Ausfüllen desselben Tests. Bei den weiteren Analysen kann somit der Testeffekt vernachlässigt werden.

Tabelle 14: Fachwissensentwicklung in den jeweiligen Gruppen

Gruppe	Pneumatisches Vorwissen t_1		Pneumatisches Wissen t_2		Wissenszuwachs $t_2.t_1$		N
	M	SD	M	SD	M	SD	
Reale Gruppe	18.00	14.66	56.17	13.90	37.71	15.56	17
CLEAR	14.26	7.80	55.21	17.61	40.94	17.24	17
FluidSim	17.16	12.91	57.05	18.82	40.37	20.80	19
Kontrollgruppe	7.36	5.74	11.77	8.78	4.50	6.34	11

Legende: 102 Punkte waren maximal im Wissenszuwachs erreichbar. Wissenszuwachs = pneumatisches Wissen - pneumatisches Vorwissen

Die praktische Problemlöseleistung wurde anhand der realen Schaltung mit fünf Fehlern untersucht.

Insgesamt zeigen sich keine Unterschiede in der Gesamtlösung der Aufgaben (siehe Tabelle 15). Das bedeutet, dass die Schüler mit einem symbolbasierten Training (FluidSim) ihr Wissen auf eine praktische Fehlersuche transferieren konnten.

Tabelle 15: Anzahl gelöster praktischer Aufgaben

Gruppe	Praktische Fehlersuche		N
	bestanden	nicht bestanden	
Reale Gruppe	9	7	16
FluidSim	9	8	17
CLEAR	9	10	19

Die Kombination aus beiden Informationsformaten in der CLEAR-Gruppe erbrachte keinen zusätzlichen Leistungsgewinn.

Auch die reale Gruppe fand nicht mehr Fehler, obwohl sie am längsten mit dem realen System gearbeitet hatte.

Als Leistungsmass für die praktische Berufsausbildung spielt die für die Fehlersuche benötigte Zeit eine wesentliche Rolle. Die FluidSim-Gruppe brauchte für das Auffinden der Fehler tendenziell länger als die anderen Gruppen (siehe Tabelle 16). Die Gruppen unterscheiden sich auf dem 10% Niveau signifikant voneinander (ANOVA, $F(2,24) = 2.91$; $p < .08$). Der Transfer von symbolbasierten Schaltungen auf eine reale Schaltung scheint somit mehr Zeit (Lösungseffizienz) zu benötigen, ist aber mit keinem Leistungsverlust (Leistungseffektivität) verbunden.

Tabelle 16: Lösungszeit für die praktische Fehlersuche

Gruppe	Lösungszeit		N
	M	SD	
Reale Gruppe	22.11	10.79	9
FluidSim	38.98	17.98	9
CLEAR	30.44	14.57	9

Legende: Maximal 60 Minuten Zeit für den Lösungsprozess.

Die Korrelationsmatrix zwischen den kognitiven Fähigkeiten, Pneumatikwissen und praktischer Fehlersuche verdeutlicht, dass es bedeutsame Zusammenhänge gibt (siehe Tabelle 17). Praktische Fehlersuche korreliert insbesondere mit physikalisch-technischem Problemverständnis und räumlichem Vorstellungsvermögen.

Tabelle 17: Interkorrelationsmatrix der kognitiven Fähigkeiten und Leistungstests (Pearson Korrelation)

	PW	MTP	RV	K	LD	PT
PW	1.00	.35**	.41**	.11	.39**	.43**
MTP		1.00	.54**	.002	.39**	.48**
RV			1.00	.07	.55**	.51**
K				1.00	.44**	.19
LD					1.00	.44**
PT						1.00

Legende: **, $p < .01$, *, $p < .05$, PW = Pneumatikwissen, MTP = physikalisch-technisches Problemverständnis, RV = räumliches Vorstellungsvermögen, K = Konzentrationsfähigkeit, LD = logisches Denken, PT = praktischer Test

Weil die Konzentrationsfähigkeit (d2-Test) nur mit logischem Denken korreliert und keine Zusammenhänge mit Wissensentwicklung und praktischem Problemlösen aufweist, wurde der d2-Test aus der psychologischen Testbatterie für die Hauptstudie entfernt. In der Vorstudie ist ein starker Personenfaktor erkennbar, der sich aus physikalisch-technischem Problemverständnis, räumlichem Vorstellungsvermögen und logischem Denken zusammensetzt. Die höchsten Zusammenhänge lassen sich zwischen physikalisch-technischem Problemverständnis und pneumatischer Fachwissensentwicklung finden. Für das vollständige Lösen der praktischen Fehlersuche ist das Fachwissen besonders relevant.

5.3 Zusammenfassung

Die Lernumgebungen mit ihren spezifischen Systemmerkmalen und Handlungsarten haben sich nicht messbar auf den Lernerfolg ausgewirkt. In Bezug auf die Leistungseffizienz konnte zumindest tendenziell festgestellt werden, dass die FluidSim-Gruppe mehr Zeit für das Lösen der praktischen Fehlersuche benötigte. Die Interkorrelationsmatrix zeigt, dass praktische Fehlersuche insbesondere mit physikalisch-technischem Problemverständnis und logischem Denken korreliert, gefolgt von pneumatischem Fachwissen.

5.4 Massnahmen für die Hauptstudie

Durchführbarkeit

Grundsätzlich war die Vorstudie in der geschilderten Art und Weise durchführbar. Der Ablauf der Untersuchung war mit hohem technischem Installations- und Entwicklungsaufwand verbunden. Für die Lehrer waren die Erarbeitung des Unterrichtsmaterials und die damit verbundene Übersetzung in die Landessprachen schwierig und sehr zeitintensiv. Der Ablauf der Evaluation stellte grosse zeitliche Anforderungen an die Schüler und war mit einem hohen koordinativen Aufwand

verbunden. Die zeitlichen Abstände zwischen den verschiedenen Tests wurden für die Hauptstudie vergrößert. Weiterhin war zu beobachten, dass die Schüler in vielen Fällen vergessen hatten, das Arbeitsprotokoll während der Aufgabenlösung zu bearbeiten. In der Hauptstudie wurden sie von den Beobachtern immer wieder darauf hingewiesen, es sorgfältig auszufüllen.

Realisierbarkeit

Die Standardisierung des Unterrichtes wurde mit den Lehrern in einem Workshop untersucht. Dabei wurden aus den Videoaufzeichnungen jeweils für die verschiedenen Gruppen und Lehrer der Stundenanfang, die Stundenmitte und das Stundenende als Analyseeinheit herausgegriffen und mit dem vorgegebenen Unterrichtsmanual und den darin enthaltenen Instruktionen verglichen. Die Lehrer stellten fest, dass sie sich nicht an das Instruktionsmaterial hielten, Sachverhalte unterschiedlich erklärten und den Schülern sehr verschiedene Hilfestellungen anboten. Somit ist in der Vorstudie die weitgehende Standardisierung der Instruktion nicht gelungen. Für die Lehrer war es ein wichtiger Erkenntnisschritt, ihre persönliche Art zu unterrichten aus dieser Perspektive zu reflektieren. Daraufhin haben die Lehrer gemeinsam das Unterrichtsmaterial mit sämtlichen Aufgabenstellungen, Folien, Zeichnungen und Erklärungen überarbeitet und im so genannten Unterrichtsplan zusammengeführt. Im Unterrichtsplan ist in 15-Minuten-Schritten die Aktivität des Lehrers, der Schüler und die notwendigen Ressourcen für jede Lerngruppe genau beschrieben. Zusätzlich wurde ein Unterrichtskonzept-Dokument erarbeitet, in welchem das didaktische Vorgehen bei Fragen von Schülern näher beschrieben wird.

Die relativ hohe Ausfallquote (27%) wurde auf den Tatbestand zurückgeführt, dass die Schüler freiwillig und ausserhalb ihres normalen Unterrichtes an diesem Kurs teilnahmen. Für die Hauptuntersuchung wurde angestrebt, jeweils eine ganze Schulklasse zu unterrichten, damit die Schüler keinen anderen Unterricht versäumten. Zusätzlich wurde für den Unterricht ein Anwesenheitsprotokoll eingeführt, da die Lehrer während der Vorstudie nicht wussten, wer von den Schülern während des Unterrichts wie oft gefehlt hatte.

Nützlichkeit

In der Ergebnisdiskussion mit den Projektpartnern und in Konferenzen (8. Dresdner Symposium für Arbeits- und Organisationspsychologie, Ninth European Congress on

Work and Organizational Psychology, 11. Züricher Symposium Arbeitspsychologie) wurde deutlich, dass für die berufliche Praxis neben dem Fachwissen und dem praktischen Problemlösen insbesondere Konstruktionsfähigkeiten wichtig sind. Deshalb wurde für die Hauptstudie eine Konstruktionsaufgabe eingeführt.

Ebenso stellte sich in den Diskussionen die Frage nach der Übertragbarkeit von gegenständlicher Erfahrung auf symbolbasierte Fehlersuche. Um den Vergleich von realem und symbolbasiertem Training für das praktische und symbolbasierte Problemlösen zu ermöglichen, wurde zusätzlich zur praktischen Fehlersuche eine ähnlich schwierige symbolbasierte Fehlersuchaufgabe eingeführt.

6 Hauptstudie

6.1 Durchführung

Die Hauptstudie bestand aus den gleichen vier Teilschritten wie die Vorstudie (siehe Abbildung 4) und wurde an jeder der vier Schulen (Portugal, Deutschland, Holland, England) über einen Zeitraum von zwei bis drei Wochen durchgeführt. Es liessen sich leider, wie nach der Vorstudie eigentlich konzeptualisiert, keine ganzen Klassen aus dem laufenden Ausbildungsbetrieb herausnehmen. Das verwendete CLEAR-System verfügte nach 21 Monaten Projektlaufzeit über eine relativ stabile Komponentenerkennung und eine wesentlich bessere Benutzerfreundlichkeit. Dies gewährleistete sinnvolle Aussagen über Lernoutputeffekte.

Der 16-stündige Pneumatikunterricht erfolgte wie in der Vorstudie jeweils in drei Gruppen: reale Gruppe, FluidSim-Gruppe und CLEAR-Gruppe. Zur Erfassung der Testeffekte füllte eine Kontrollgruppe, die am Unterricht nicht teilnahm, den Wissenstest am Anfang und am Ende der Untersuchung aus.

Tabelle 18: Untersuchungsdesign Hauptstudie

Vortest 1	Vortest 2	Prozessphase	Nachtest
Kognitive Tests <ul style="list-style-type: none"> • räumliches Vorstellungsvermögen • physikalisch-technisches Problemverständnis • logisches Denken 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorwissenstest in Pneumatik • Motivationsfragebogen 	<ul style="list-style-type: none"> • Videoaufzeichnung des Unterrichtes zur Kontrolle der Standardisierung 	Fachwissen <ul style="list-style-type: none"> • Wissenstest in Pneumatik Praktische Kompetenz <ul style="list-style-type: none"> • Konstruktionsaufgabe • symbolbasierte Fehlersuchaufgabe mit Interview • praktische Fehlersuchaufgabe mit Videoaufzeichnung, Arbeitsprotokoll, Zeichnung und Interview

Die Gruppeneinteilung erfolgte vier Wochen vor Kursbeginn auf der Grundlage der kognitiven Tests (Vortest 1). Die Gruppen wurden innerhalb der Länder hinsichtlich ihrer Leistungen im physikalisch-technischen Problemlösen parallelisiert, da die Leistung im

physikalisch-technischen Problemlösen stark mit den anderen getesteten Fähigkeiten korreliert (siehe Kapitel 1). Eine ausgeglichene Verteilung in Bezug auf das physikalisch-technische Problemlösen ist zudem wichtig, weil die Schweizerische Berufsberatung diese Fähigkeit für die Berufsgruppe der Polymechaniker als besonders bedeutsam erachtet. Ausserdem korreliert physikalisch-technisches Problemverständnis hoch mit der Entwicklung von Pneumatikwissen und der praktischen Fehlersuche (siehe Vorstudie Kapitel 5.2).

Vortest 2 erfolgte einen Tag vor Beginn des Unterrichts und ermittelte das theoretische Vorwissen in Pneumatik und die Motivation der Schüler.

Der Unterricht wurde an jeder Berufsschule/College von je einem Lehrer durchgeführt. Der gesamte Unterricht wurde auf Video aufgezeichnet (Prozessphase), um Lehrereffekte zu erfassen und die Standardisierbarkeit zu kontrollieren.

Im Folgenden ist exemplarisch ein Ablaufplan dargestellt (siehe Tabelle 19). Die Reihenfolge der Gruppen wurde systematisch variiert. Damit sollten bei den Lehrern Gewöhnungseffekte im Unterrichten bestimmter Lehrinhalte vermieden werden.

Tabelle 19: Ablauf der Untersuchung an Schulen im Überblick

Zeit	Fr.	Mo.	Di.	Mi.	Do.	Fr.	Mo.	Di.	Mi.	Do.
Morgen (4 Std.)	Vorwissen Motivation	Gr 3	Gr 1	Gr 3	Gr 1	Gr 2	Gr 2	Fachwissen, s. F., Konstruktion	p. F. + Interviews	p. F. + Interviews
Nach- mittag (4 Std.)		Gr 2	Gr 2	Gr 1	Gr 3	Gr 1	Gr 3	Interviews	p. F. + Interviews	Feedback kognitive Tests

Anmerkungen: Gr1 = reale Gruppe, Gr2 = FluidSim-Gruppe, Gr3 = CLEAR-Gruppe, s. F. = symbolbasierte Fehlersuche, p. F. = praktische Fehlersuche

Jeder Lehrer unterrichtete drei Gruppen nacheinander (reale Gruppe, FluidSim-Gruppe, CLEAR-Gruppe) mit je maximal sechs Schülern.

Die Schüler arbeiteten jeweils während dem Unterricht in Zweiergruppen an einem Lernmedium (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11: Schüler der verschiedenen Gruppen am Lernen



Der Nachtest bestand aus dem theoretischen Wissenstest (identisch zu Vortest 2) sowie drei praktischen Aufgaben (praktische Fehlersuche in realer Schaltung, symbolbasierte Fehlersuche im Schaltplan und Konstruktionsaufgabe). Anschliessend an die praktische und symbolbasierte Fehlersuche wurden Interviews über mentale Prozesse des Problemlösens durchgeführt. Der Ausführende des Interviews über die praktische Fehlersuche beobachtete die Schüler während der gesamten Aufgabenlösung, um sich Notizen über deren Lösungsvorgehen zu machen. Im Beobachtungsprotokoll (siehe Anhang E) wurde die Zeit der Fehleridentifikation (Fehler eins bis fünf) und besondere Auffälligkeiten, wie z. B. Schaltungslösungen, Komponentenwechsel etc. notiert. Dieses Protokoll diente als Grundlage für die Auswahl der Videosequenzen (Aufgabenstart, erste Fehleridentifikation und Aufgabenende) für das anschliessende Interview. Die symbolbasierte Fehlersuche wurde nicht beobachtet. Der Schüler bekam während dem Interview seine eigene Lösung als Erinnerungshilfe vorgelegt.

Zwei Drittel der interviewten Schüler (symbolbasierte Fehlersuche) wurden direkt nach der Aufgabenbewältigung befragt (siehe Tabelle 20), der Rest mit maximal 24 Stunden Verschiebung. Das Interview über die praktische Fehlersuche fand für alle Schüler direkt nach der Aufgabenbewältigung statt.

Die Tabelle 20 zeigt als Beispiel den komplexen Tagesverlauf der Untersuchung am zweiten Untersuchungstag. Die Zeitpläne 1 und 2 geben die Zeit für die Interviews über die symbolbasierte bzw. die praktische Fehlersuche wieder. Die parallel liegenden Befragungen wurden von zwei Interviewern durchgeführt.

Tabelle 20: Zweiter Erhebungstag in England

Zeitplan 1	Interview: symbolbasierte Fehlersuche	Zeitplan 2	Durchführung der praktischen Fehlersuche	Interview: praktische Fehlersuche
8.30 – 9.00	Gr 1 Schüler I	8.30 – 9.30	Gr 3 (Schüler 1,2,3)	
9.15 – 9.45	Gr 1 Schüler II			
10.00 – 10.30	Gr 2 Schüler III			
10.45 – 11.15	Gr 2 Schüler IV			
11.30 – 12.00	Gr 2 Schüler V	9.45 – 10.30		Gr 3 Schüler 1
		10.45 – 11.45	Gr 1 (Schüler 4,5,6)	
12.15 – 12.45	Gr 3 Schüler VI	12.00 – 12.45		Gr 1 Schüler 4
12.45 – 13.45	Mittagspause			
13.45 – 14.45		13.45 – 14.45	Gr 2 (Schüler 7,8,9)	
15.00 – 15.45		15.00 – 15.45		Gr 2 Schüler 5 Gr 2 Schüler 7
15.45 – 16.15		15.45 – 16.15		Gr 1 Schüler 8 Gr 1 Schüler 9

Anmerkungen: Gr1 = reale Gruppe, Gr2 = FluidSim-Gruppe, Gr3 = CLEAR-Gruppe

6.2 Datenqualität

Für die Begründung der in den folgenden Kapiteln angewendeten Analyseverfahren muss näher auf die Qualität und die Verteilungen der erhobenen Daten eingegangen werden. Den Ausgangspunkt der Betrachtung bilden die verschiedenen Skalenniveaus der Variablen als eine Basisvoraussetzung für die Durchführung unterschiedlicher statistischer Verfahren. Das Alter, die Motivationsfacetten, die kognitiven Fähigkeiten (logisches Denken, räumliches Vorstellungsvermögen), das Fachwissen, die symbolbasierte und praktische Fehlersuche, die Anzahl an beschriebenen Fehlern im Arbeitsprotokoll der praktischen Fehlersuche und die Konstruktionsaufgabe weisen jeweils intervallskaliertes Niveau auf, ebenso die Anzahl und Komplexität der operationalen/funktionalen Erklärungen im Bereich der mentalen Modelle. Die anderen Kategorien der mentalen Modelle (siehe Kapitel 4.2.5) und die Problemlösestrategien (siehe Kapitel 3) sind nominalskaliert.

Mit den intervallskalierten Daten wurden unter anderem univariate Varianzanalysen, Kovarianzanalysen und Regressionen gerechnet. Zur Durchführung von einfaktoriellen Varianzanalysen müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein (Bortz, 1993):

1. Die Normalverteilung der Fehlerkomponenten, d. h., die Abweichungen der Stichprobenmesswerte vom Stichprobenmittelwert müssen normalverteilt sein.
2. Homogene Fehlervarianzen, d. h., die Varianzen innerhalb der Stichproben dürfen sich nicht signifikant voneinander unterscheiden.

3. Die Unabhängigkeit der Fehlerkomponenten, d. h., die jeweiligen Messwerte müssen unabhängig voneinander durch Störvariablen beeinflusst werden.

Bei der vorliegenden Untersuchung wurde die Normalverteilung der Daten mit dem Kolmogorov-Smirnov Test geprüft. Die Varianzhomogenitäten wurden mit dem Levene Test geprüft. Zur Verbesserung der Lesefreundlichkeit sind nur die Ergebnisse aufgeführt, bei denen die Varianzen nicht homogen bzw. die Normalverteilungen nicht erfüllt sind. In diesen Fällen wurde der Kruskal-Wallis Test für die Analyse von Varianzunterschieden verwendet. Die dritte Bedingung kann als gegeben angenommen werden, wenn die Personen zufällig den Stichproben zugeordnet und verschiedene Stichproben unter den Treatmentstufen untersucht werden (Bortz, 1993). Diese Bedingungen sind nur teilweise erfüllt, da die Zuordnung der Schüler aufgrund des physikalisch-technischen Problemverständnisses zu den einzelnen Treatmentstufen erfolgte. Die Vorhersagen der Varianzanalyse sind bei gleichgrossen Stichprobenumfängen relativ zuverlässig (Bortz, 1993), deshalb kam dieses Verfahren bei den vorliegenden Daten zur Anwendung. Einschränkend muss aber festgehalten werden, dass das n in den jeweiligen Gruppen klein ist und dadurch zumindest eine gewisse Vorsicht hinsichtlich der Bedeutsamkeit und Validität der Ergebnisse zu konstatieren ist.

In der Kovarianzanalyse müssen neben den für die Varianzanalyse geltenden Bedingungen weitere Bedingungen erfüllt sein:

- keine Korrelation zwischen Treatment und Kontrollvariablen
- homogene Regressionen

Zwischen dem Treatment (Lerngruppe) und der Kontrollvariable (physikalisch-technisches Problemverständnis) ergibt sich keine signifikante Korrelation ($p > .97$). Die Homogenität der Regressionen wurde nicht geprüft, da Bortz (1993) schreibt, dass die Kovarianzanalyse sehr robust sei und die Verletzung dieser Bedingung geringe Auswirkungen auf die Veränderungen und die Interpretierbarkeit der Ergebnisse hat, insbesondere wenn gleiche Stichprobenumfänge – wie in der vorliegenden Untersuchung - gegeben sind.

Das Regressionsanalyseverfahren wird als Letztes in Bezug zu den erhobenen Daten betrachtet. Die erhobenen Merkmale müssen in der Grundgesamtheit bivariat bzw. multivariat normalverteilt sein. Diese Bedingung muss auch für die aus der Grundgesamtheit gezogenen Stichproben erfüllt sein. Die Verteilungen (Arrayverteilungen), die sich aus den x -Werten und den dazugehörigen y -Werten und

umgekehrt ergeben, müssen ebenfalls normalverteilt sein und die Mittelwerte der Arrayverteilungen müssen auf einer Geraden liegen. Eine strenge Prüfung all dieser Bedingungen ist bei dem gegebenen N nicht möglich, auch die nach Bortz (1993) als üblich bezeichnete „optische“ Prüfung der Verteilung ist bei der Anzahl von sechs verwendeten Variablen äusserst ungenau, wenn nicht sogar unmöglich. Der Autor der vorliegenden Studie stützt sich bei der Vernachlässigung dieser Bedingungen auf die Monte-Carlo-Studien, die berichten, *„dass geringfügige Verletzungen der Voraussetzungen zu tolerierbaren Verzerrungen der inferenzstatistischen Absicherungen der Regressionsgleichung führen“* (Bortz, 1993, S. 176). Die geringe Anzahl an Schülern (N=54) führt zur Vermutung, dass die multivariate Normalverteilung wahrscheinlich nicht erfüllt ist. Dadurch wird die Abschätzung der Signifikanz eingeschränkt und verliert an Gewicht. Dies ist für die vorliegende Studie nicht so folgenreich, da das Regressionsverfahren nur für eine tiefere explorative Datenanalyse verwendet wird.

6.3 Stichprobe

In die Auswertung fliessen die Daten derjenigen Schüler ein, die folgende Kriterien erfüllen:

- Die Schüler kommen aus Klassen, bei denen die Unterrichtsstandardisierung, die auf der Basis von Videoanalysen geprüft wurde, gelungen ist.
- Die Schüler haben mindestens drei der vier Unterrichtseinheiten besucht.
- Die Schüler haben sämtliche Tests bearbeitet: Vorwissenstest, kognitive Fähigkeitstests, Motivationsfragebogen, Wissenstest, Konstruktionsaufgabe, praktische und symbolbasierte Fehlersuche.

Insgesamt beteiligten sich am kognitiven Fähigkeitstest 92 Schüler (24 in Deutschland, 23 in England, 22 in Holland und 23 in Portugal). Am Kurs nahmen anschliessend 76 Schüler (24 aus Deutschland, 16 aus England, 22 aus Holland und 14 aus Portugal) freiwillig teil. In Holland wurde der Lehrer während der Untersuchung gewechselt (schulinterne Entscheidung). Dieses führte zu verschiedenen Abweichungen im Unterricht, worauf diese Gruppe aus der Untersuchung herausgenommen wurde. In England wurde die Untersuchung mit neuen Schülern wiederholt - oben aufgeführte Teilnehmer -, weil es organisatorische Schwierigkeiten bei der ersten Durchführung gab, die einen starken Teilnehmerschwund zur Folge hatte. Somit bleiben für die vorliegenden Analysen die Daten von 54 Schülern (2 Frauen und 52 Männer) übrig.

Im Durchschnitt sind die Schüler 19 Jahre alt mit $SD = 2$. Die Länder unterscheiden sich signifikant in der Altersstruktur (ANOVA, $F(2,53) = 12.85$, $p < .01$). Die Portugiesen sind signifikant älter als die Deutschen (Scheffé-Test, $p < .01$) und die Engländer (Scheffé-Test, $p < .01$; siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Alter der Schüler aus den unterschiedlichen Ländern

Land	Alter		N
	M	SD	
Deutschland	17.86	2.10	24
England	17.50	1.79	16
Portugal	20.71	1.59	14

Die gebildeten Gruppen über alle Länder (reale Gruppe, FluidSim-Gruppe, CLEAR-Gruppe) unterscheiden sich im Alter nicht signifikant (ANOVA, $F(3,53) = .18$, $p < .91$), somit ist die Vergleichbarkeit gewährleistet (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Durchschnittsalter der Schüler in den Gruppen

Gruppe	Alter		N
	M	SD	
Reale Gruppe	18.36	2.50	14
FluidSim	18.31	2.09	16
CLEAR	18.81	2.59	16
Kontrollgruppe	18.75	1.83	8

6.3.1 Kognitive Fähigkeiten

Die Gruppen wurden auf Basis des physikalisch-technischen Problemverständnisses parallelisiert. Die Gruppen unterscheiden sich in den kognitiven Fähigkeiten (Vortest 1) nicht signifikant (ANOVA: physikalisch-technisches Problemlösen $F(3,53) = .17$, $p < .92$; räumliches Vorstellungsvermögen, $F(3,53) = .56$, $p < .65$; logisches Denken, $F(3,53) = .31$, $p < .82$), siehe Tabelle 23). Die gebildeten Gruppen lassen sich gut hinsichtlich der kognitiven Merkmale vergleichen. Die Schüler sind wie in der Vorstudie bezüglich kognitiven Fähigkeiten mit den Durchschnittsschülern der Referenzgruppen der jeweiligen Tests (Referenzgruppe: technische Berufsschüler) vergleichbar. Die folgenden Angaben zeigen die von den Normierungsgruppen erreichten Punktzahlen und die zugehörigen Percentile.

- physikalisch-technisches Problemverständnis: 12 Punkte: 50% Percentil
- räumliches Vorstellungsvermögen: 8 Punkte: 50% Percentil

- logisches Denken: 55 Punkte: 50% Percentil

Dadurch ist die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse dieser Studie auf andere technische Berufsschüler sichergestellt.

Tabelle 23: Kognitive Fähigkeiten

Gruppe	Physikalisch-technisches Problemverständnis		Räumliches Vorstellungsvermögen		Logisches Denken		N
	M	SD	M	SD	M	SD	
Reale Gruppe	13.21	6.25	9.64	5.79	60.07	10.61	14
FluidSim	12.50	4.20	9.69	5.35	58.00	5.61	16
CLEAR	13.12	4.66	8.31	5.88	59.63	9.67	16
Kontrollgruppe	14.00	4.21	11.38	4.78	61.38	6.72	8

Legende: Maximale Punktzahl: physikalisch-technisches Problemverständnis 24 Punkte, räumliches Vorstellungsvermögen 17 Punkte und logisches Denken 80 Punkte

Die Interkorrelationsmatrix zwischen den verschiedenen kognitiven Fähigkeiten zeigt, dass physikalisch-technisches Problemverständnis signifikant mit räumlichem Vorstellungsvermögen und logischem Denken sowie logisches Denken mit räumlichem Vorstellungsvermögen korreliert (siehe Tabelle 24). Die hohen Interkorrelationen bedeuteten, dass die Vorhersagekraft der einzelnen Variablen durch die gemeinsame Testvarianz verringert wird. Dies zeigt sich später in den Regressionsanalysen für die jeweiligen Leistungstests.

Tabelle 24: Interkorrelationsmatrix zwischen den kognitiven Fähigkeiten (Pearson Korrelation)

	MTP	RV	LD
MTP	1.00	.53**	.65**
RV		1.00	.50*
LD			1.00

Legende: **.p<.01, *.p<.05, MTP = physikalisch-technisches Problemverständnis, RV = räumliches Vorstellungsvermögen, LD = logisches Denken

6.3.2 Pneumatisches Vorwissen

Der Vorwissenstest ergibt, dass (1) alle Gruppen über geringes pneumatisches Vorwissen verfügen (siehe Tabelle 25) und dass (2) die Gruppen sich nicht signifikant unterscheiden (ANOVA, $F(3,53) = .86, p < .47$).

Tabelle 25: Pneumatisches Vorwissen

Gruppe	Pneumatisches Vorwissen		N
	M	SD	
Reale Gruppe	23.36	14.08	14
FluidSim	15.50	17.51	16
CLEAR	19.19	12.94	16
Kontrollgruppe	24.19	19.10	8

Legende: Maximal waren 102 Punkte im Vorwissenstest erreichbar.

6.3.3 Motivation

Der Motivationsfragebogen ergibt folgendes Bild (siehe Tabelle 26):

Die beteiligten Schüler finden Pneumatik ein interessantes Thema. Sie arbeiten sowohl gerne mit dem Computer als auch mit realen Schaltungen.

Sie möchten „virtual reality“ kennen lernen und halten die Kursleiter für sympathisch.

Hingegen arbeiten die Schüler in ihren Betrieben kaum an pneumatischen Anlagen. Damit haben sie keine Möglichkeit, die im Laufe der Untersuchung erworbenen Erkenntnisse auch im Arbeitsalltag anzuwenden.

Tabelle 26: Motivation der Schüler an der Kursteilnahme mit ANOVA-Analyse auf Gruppenunterschiede

Items	M	SD	n	F	Sig.
Pneumatik ist ein interessantes Thema.	4.02	.54	53	.44	.73
Ich arbeite in meinem Betrieb an pneumatischen Anlagen.	1.81	1.08	53	1.18	.33
Mit Hilfe von „virtual reality“ lerne ich besser Pneumatik.	3.43	1.23	44	.30	.83
Ich möchte „virtual reality“ kennen lernen.	4.36	.81	53	.55	.65
Ich lerne gerne mit dem Computer.	4.23	.91	53	1.40	.25
Ich besuche mit einem/einen SchulfreundIn den Kurs.	3.00	1.60	50	.42	.74
Ich habe etwas über neue Technologien gelesen.	2.35	1.03	52	.23	.87
Ich habe über neue Technologien etwas im Fernsehen gesehen.	2.60	1.08	53	1.10	.36
Der Kursleiter ist sympathisch.	4.02	.96	52	.08	.97
Ich experimentiere gerne mit echten Schaltungen.	4.21	.79	53	.11	.96

Legende: Fünfstufige Skala von 1 („gar nicht“) bis 5 („völlig“). Unterschiede in N aufgrund fehlender Angaben.
df = 3

Die Gruppen unterscheiden sich in keinem der Items signifikant (siehe Tabelle 26). Die Ausgangsmotivation für die Kursteilnahme lässt sich als vergleichbar einstufen. Die Motivation wird in den weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt, da sie nur der Erfassung von Motivationsfacetten als Beschreibungsmerkmal diene und nicht zentraler Gegenstand der Untersuchung ist.

6.4 Zusammenfassung

Die 54 Schüler dieser Untersuchung sind im Durchschnitt 19 Jahre alt ($SD = 2$) und verfügen über geringe Vorkenntnisse in Pneumatik. Ihre kognitiven Fähigkeiten liegen im Durchschnitt der kognitiven Testergebnisse der Normpopulation für technische Berufsgruppen. Die Gruppen (reale Gruppe, FluidSim-Gruppe, CLEAR-Gruppe) unterscheiden sich weder in kognitiven Fähigkeiten, in pneumatischem Vorwissen noch in der Motivation, was eine gute Ausgangsbasis für die Untersuchung von Lerneffekten darstellt. Hinsichtlich der Motivation ist zu bemerken, dass die Schüler sich für das Thema interessieren und gerne mit dem Computer und Pneumatikelementen arbeiten. Pneumatikwissen können sie aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht im Betrieb einsetzen, da sie dort nicht an pneumatischen Anlagen arbeiten.

7 Ergebnisse der Hauptstudie

Der Ergebnisteil gliedert sich in vier Abschnitte. Im ersten Abschnitt werden die Auswirkungen der Lernumgebungen auf den Lernoutput im Bereich des pneumatischen Fachwissens vorgestellt. Im zweiten Abschnitt werden die Effekte der Lernumgebungen auf die praktische Kompetenz in den drei Bereichen praktische Fehlersuche, symbolbasierte Fehlersuche und Konstruktionsaufgabe präsentiert. Der dritte Abschnitt befasst sich mit der Entwicklung von mentalen Modellen in der praktischen und symbolbasierten Fehlersuche. Im letzten Abschnitt erfolgt die Beschreibung der angewendeten Problemlösestrategien in den beiden oben genannten Aufgaben.

7.1 Theoretisches Fachwissen

Die Gruppen weisen im pneumatischen Wissenszuwachs (Differenz aus pneumatischem Wissen t_2 und pneumatischem Vorwissen t_1) unter Ausschluss der Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede (ANOVA, $F(2,45) = .16$, $p < .85$) auf (siehe Tabelle 27).

Die Lernumgebungen wirken sich also nicht bedeutsam auf die Fachwissensentwicklung aus. Die Hypothese 1 über die Auswirkungen der Multicodierung (real-gegenständlich und symbolisch kombiniert) auf Wissensentwicklung lässt sich nicht bestätigen. Auch die Gegenständlichkeit als spezifisches Merkmal der realen Gruppe und der CLEAR-Gruppe hat keine wesentliche Bedeutung für die Fachwissensentwicklung. Schüler, die ausschliesslich mit Symbolen unterrichtet wurden (FluidSim-Gruppe), lernten vergleichbar viel Pneumatik.

Tabelle 27: Fachwissensentwicklung in den Gruppen

Gruppe	Pneumatisches Vorwissen t_1		Pneumatisches Wissen t_2		Wissenszuwachs t_2-t_1		Lösungszeit (Min.)		N
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	
Reale Gruppe	23.36	14.08	71.79	13.74	48.43	12.97	30.36	4.73	14
CLEAR	15.50	17.51	66.50	17.91	47.31	22.64	28.00	7.05	16
FluidSim	19.19	12.94	66.31	9.05	50.81	16.15	29.12	7.92	16
Kontrollgruppe	24.19	19.10	32.25	13.59	10.19	8.04			8

Legende: Maximal konnten 102 Punkte erreicht werden.

Die drei Gruppen unterscheiden sich auch nicht in der Bearbeitungsgeschwindigkeit des pneumatischen Wissenstests (ANOVA, $F(2/45) = .45$, $p < .64$) (siehe Tabelle 27).

Die Kontrollgruppe hat im Durchschnitt 8 Punkte (richtige Beantwortung von 2.5 Multiple-Choice-Fragen oder grösseren Teil einer offenen Frage) mehr im zweiten Test. Es liegt ein geringer Testeffekt vor. Es fällt auf, dass die Streuung innerhalb der Gruppen für alle Messwerte wesentlich grösser ist als zwischen den Gruppen. Mit der ANOVA werden darum beim vorhandenen kleinen n (8-16 pro Gruppe) nur sehr grosse Unterschiede zwischen den Gruppen signifikant.

Mit einer schrittweisen Regression werden die verschiedenen Einflussfaktoren näher untersucht (siehe Tabelle 29). Die Gruppenzugehörigkeit zeigt aber auch in dieser Analyse keinen signifikanten Beitrag zur Wissensentwicklung. Hingegen lassen sich 66% der Wissenszuwachsvarianz mit pneumatischem Vorwissen (Beta = $-.79$) und physikalisch-technischem Problemverständnis (Beta = $.51$) erklären. Logisches Denken und räumliches Vorstellungsvermögen haben keinen zusätzlichen signifikanten Einfluss, was sich aus den hohen Interkorrelationen (siehe Tabelle 24) zwischen diesen zwei Faktoren und dem physikalisch-technischen Problemverständnis erklären lässt.

Tabelle 28: Interkorrelationsmatrix für Fachwissenszuwachs und kognitive Fähigkeiten (Pearson Korrelation)

	PVW	MTP	RV	LD
PWZ	-.64**	.29*	.18	.22

Legende: **.p<.01, *.p<.05, PVW = Pneumatikvorwissen, PWZ = pneumatischer Wissenszuwachs, MTP = physikalisch-technisches Problemverständnis, RV = räumliches Vorstellungsvermögen, LD = logisches Denken

Tabelle 29: Schrittweise Regression für die Vorhersage des Wissenszuwachses

	R	R ²	Beta	t-Wert
Prädiktoren	.81	.66		
Pneumatisches Vorwissen			-.79**	-8.50
Physikalisch-technisches Problemverständnis			.51**	5.56
Logisches Denken			.21	1.80
Räumliches Vorstellungsvermögen			.12	1.14
Gruppe			-.11	-1.25

Legende: Abhängige Variable = Pneumatischer Wissenszuwachs, R = multiple schrittweise Regression, R² = gemeinsame Varianz, Beta = Standardkorrelationskoeffizient, t-Wert = t-Wert des Standardkorrelationskoeffizienten, ** p<.001

In der Kovarianzanalyse mit Gruppe als unabhängige Variable und physikalisch-technischem Problemverständnis als Kovariate und Wissenszuwachs als abhängige

Variable ergibt sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Gruppe und physikalisch-technischem Problemverständnis ($p < .01$). In den Einzelregressionen für die drei Lernumgebungen zeigt sich, dass nur die CLEAR-Gruppe massgeblich an diesem Effekt beteiligt ist ($p < .01$). Die Standardabweichung in dieser Gruppe ist besonders hoch und führt durch zwei Ausreisser zu wesentlichen Verzerrungen. Wenn diese beiden Ausreisser durch den Gesamtmittelwert der CLEAR-Gruppe ersetzt werden, so verschwindet der Interaktionseffekt ($p > .20$).

7.2 Praktische Kompetenz

Die praktische Kompetenz der Schüler wird anhand der praktischen Fehlersuche, dem dabei erstellten Arbeitsprotokoll, der symbolbasierten Fehlersuche und einer Konstruktionsaufgabe beurteilt.

7.2.1 Praktische Fehlersuche

In der ersten Aufgabe mussten die Schüler in einer realen Schaltung, die sich aus 13 Komponenten zusammensetzte, fünf Fehler finden und beheben. Währenddessen führten sie ein Arbeitsprotokoll, und am Ende fertigten sie eine Zeichnung der Schaltung aus ihrer Vorstellung an. Die erste Auswertung basiert auf der durchschnittlichen Anzahl gefundener Fehler pro Schüler in den jeweiligen Gruppen. Die Gruppen identifizierten insgesamt vergleichbar viele Fehler (siehe Tabelle 30). Das real-gegenständliche Arbeiten in der realen Gruppe führte zu keinem deutlichen Leistungsvorteil (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = .58$, $df = 2$, $p > .73$), obwohl im Gegensatz zur FluidSim-Gruppe kein Codiertransfer notwendig war und die Schüler wesentlich länger mit diesen Komponenten gearbeitet hatten (siehe Unterhypothese 2.1). Die CLEAR-Gruppe liegt in ihrer Leistung zwischen der realen Gruppe und der FluidSim-Gruppe (siehe Unterhypothese 2.4). Tendenziell lässt sich erkennen, dass die reale Gruppe die meisten Fehler fanden (unter Einbezug der hohen Standardabweichung), gefolgt von der CLEAR-Gruppe und FluidSim-Gruppe.

Tabelle 30: Gefundene Fehler und gewichtete Fehler

Gruppe	Fehleranzahl		Gewichtete Fehler		Mittlerer Rang der Fehleranzahl	N
	M	SD	M	SD	M	
Reale Gruppe	4.14	1.35	12.50	4.22	22.36	14
CLEAR	3.38	1.50	10.19	4.82	25.59	16
FluidSim	3.88	1.45	11.63	4.33	22.41	16

Legende: Maximal konnten fünf Fehler gefunden werden.

Gliedert man die gefundenen Fehler nach ihrem Schwierigkeitsgrad (siehe Kapitel 4.2.3), so lässt sich ein tendenzieller Unterschied zwischen den Gruppen finden. FluidSim Schüler fanden den schwierigsten Fehler (5) etwas seltener als die anderen Gruppen (Chi-Quadrat, $p < .09$).

Tabelle 31: Verteilung nach Schwierigkeit der gefundenen Fehler in der praktischen Aufgabe

	Fehler 1	Fehler 2	Fehler 3	Fehler 4	Fehler 5	n (alle gelöst)	N
Reale Gruppe	11	13	10	12	12	9	14
FluidSim	8	14	9	15	8	6	16
CLEAR	12	13	12	13	12	9	16

Legende: Aufteilung nach zunehmender Schwierigkeit (Fehler 1 zu Fehler 5)

Die Kombination (gewichtete Fehler) von Schwierigkeitsmass pro Fehler und Anzahl gefundener Fehler ergibt keinen signifikanten Unterschied (ANOVA, $F(2/45) = 1.03$, $p < .37$) zwischen den Gruppen (siehe Tabelle 30).

Keine Unterschiede (ANOVA, $F(2/45) = .83$, $p < .44$) sind in der durchschnittlichen Lösungszeit pro Fehler, über alle Schüler zwischen den jeweiligen Gruppen (siehe Tabelle 32), erkennbar. Die gesamte Lösungszeit (siehe Tabelle 32) als ein Mass der Lösungseffizienz zeigt, dass zwar kein signifikanter Unterschied (ANOVA, $F(2/23) = 1.23$, $p < .31$), aber durchaus eine deutliche Tendenz in Richtung der realen Gruppe festzustellen ist.

Tabelle 32: Lösungszeit für Schüler, die alle Fehler fanden und Lösungszeit pro Fehler über alle Schüler

Gruppe	Gesamte Lösungszeit (Min.)			Lösungszeit pro Fehler (Min.)		
	M	SD	n	M	SD	N
Reale Gruppe	26.00	13.58	9	13.70	15.69	14
FluidSim	35.67	16.69	6	20.80	13.70	16
CLEAR	36.78	16.80	9	16.95	14.84	16

Im nächsten Schritt werden die verschiedenen Einflussfaktoren in einer schrittweisen Regression untersucht (siehe Tabelle 33).

Die Gruppenzugehörigkeit hat auch hier keinen signifikanten Einfluss. Die höhere Erfahrung mit den praktischen Komponenten in der realen Gruppe und der CLEAR-Gruppe hat somit keine Auswirkung auf die Leistung in der praktischen Fehlersuche. 19% der Testvarianz in der praktischen Fehlersuche lassen sich signifikant mit physikalisch-

technischem Problemverständnis erklären. Weder das pneumatische Wissen noch räumliches Vorstellungsvermögen und logisches Denken klären zusätzlich signifikant Varianz auf.

Tabelle 33: Schrittweise Regression für die Vorhersage der praktischen Fehlersuchleistung

	R	R ²	Beta	t-Wert
Prädiktoren	.44	.19		
Physikalisch-technisches Problemverständnis			.44**	3.25
Räumliches Vorstellungsvermögen			.27	-1.72
Pneumatisches Wissen			-.14	-.76
Logisches Denken			.10	.57
Gruppe			-.07	-.48

Legende: Abhängige Variable = praktische Fehlersuche, R = multiple schrittweise Regression, R² = gemeinsame Varianz, Beta = Standardkorrelationskoeffizient, t-Wert = t-Wert des Standardkorrelationskoeffizienten, ** p<.001

Das Pneumatikwissen steht in keinem bedeutsamen Zusammenhang zur praktischen Fehlersuchleistung (siehe Tabelle 34).

Tabelle 34: Interkorrelationsmatrix für die praktische Fehlersuche (Pearson Korrelation)

	PW	MTP	RV	LD
PF	.22	.44**	.04	.35*

Legende: **.p<.01, *.p<.05, PW = Pneumatikwissen, MTP = physikalisch-technisches Problemverständnis, RV = räumliches Vorstellungsvermögen, LD = logisches Denken, PF = praktische Fehler

Eine Kovarianzanalyse mit Gruppe als unabhängige Variable und physikalisch-technischem Problemverständnis als Kovariate und praktischer Fehlersuchleistung als abhängige Variable ergab keinen signifikanten Interaktionseffekt (p<.94).

7.2.2 Arbeitsprotokoll

Im Arbeitsprotokoll dokumentierten die Schüler die identifizierten Fehler. Ebenso beschrieben sie den Weg der Identifikation.

Tabelle 35 zeigt die beschriebenen (Schüler) und tatsächlich gefundenen Fehler (Beobachter).

Tabelle 35: Übereinstimmung zwischen beschriebenen Fehlern (Schüler) und gefundenen Fehlern (Beobachter)

	Fehler 1	Fehler 2	Fehler 3	Fehler 4	Fehler 5	Summe	Weitere Fehler
Schüler	36	26	8	38	25	133	30
Beobachter	40	31	31	40	32	174	
Übereinstimmung	35	23	8	34	23	123	

Legende: Aufteilung nach zunehmender Schwierigkeit (Fehler 1 zu Fehler 5)

Es stellt sich die Frage, wie hoch die Übereinstimmung zwischen tatsächlich gefundenen Fehlern (aus der Videoanalyse gewonnen) und den dokumentierten Fehlern ist, was als ein Mass für das bewusste explizite Systemverständnis gelten kann.

Die Übereinstimmungsmatrix verdeutlicht, dass die Schüler insgesamt weniger Fehler (71% bei korrekten Übereinstimmungen) dokumentierten, als sie tatsächlich fanden. Vor allem das Drosselrückschlagventil (Fehler 3) wurde nicht als Fehler identifiziert. Die Schüler betrachteten die Systemeinstellung möglicherweise als Justierung der Anlage und nicht als expliziten Fehler. Relativ klar kann ausgeschlossen werden, dass die Schüler vergassen den Fehler zu notieren, denn die Schüler wurden mehrmals während der Fehlersuche auf die Notwendigkeit der Dokumentation hingewiesen und nur ein Schüler im Interview erwähnte, etwas nicht ins Arbeitsprotokoll eingetragen zu haben.

Aus dem Verhältnis zwischen Übereinstimmungen (Beobachter/Schüler) und beschriebenen Fehlern (Schüler) kann man berechnen, wie viele Fehler beschrieben, aber nicht behoben wurden. In acht Prozent der Fälle haben die Schüler den Fehler erkannt und dokumentiert, aber keine Systemveränderung vorgenommen. Das bedeutet, wenn sie den Fehler fanden, konnten sie in fast allen Fällen eine Lösung dafür erarbeiten. 22 der 46 Schüler beschrieben im Durchschnitt 1.36 (SD = .58) zusätzliche Schaltungsbereiche (Komponenten) als fehlerhaft, was 18% sämtlicher Fehlerbeschreibungen ausmacht. Die Fehlerhypothesen bezogen sich in 91% der Fälle auf die Orientierung der Drosselrückschlagventile, mit denen sich die Ausfahrgeschwindigkeit der Zylinder regulieren lässt. Diese sehr hohe Übereinstimmung der Schüler bezüglich der zusätzlichen Fehler spricht für ein systematisches Missverständnis über die Anschlussbedingungen dieser Komponente.

Die detaillierte Analyse der Arbeitsprotokolle nach Gruppen zeigt ein erstaunliches Ergebnis (siehe Tabelle 36). Nur die reale Gruppe weist keinen signifikanten Unterschied (t-Test, $p < .39$, paarweise) zwischen beschriebenen und gefundenen Fehlern auf, im Gegensatz zur FluidSim-Gruppe (t-Test, $p < .01$, paarweise) und zur CLEAR-Gruppe (t-Test, $p < .01$, paarweise).

Die grössten Differenzen liegen in der FluidSim-Gruppe gefolgt von der CLEAR-Gruppe. Beide Gruppen haben wesentlich mehr Fehler gefunden als beschrieben (siehe Tabelle 36), was für ein weniger bewusstes Systemverständnis der beiden Gruppen gegenüber der realen Gruppe spricht.

Tabelle 36: Beschriebene und gefundene Fehler in der praktischen Fehlersuche

Gruppe	Beschriebene Fehler		Gefundene Fehler		N
	M	SD	M	SD	
Reale Gruppe	3.93	1.07	4.14	1.35	14
FluidSim	2.06	.93	3.38	1.50	16
CLEAR	2.81	1.28	3.88	1.45	16

Höhere Systemvertrautheit in der realen Gruppe und der CLEAR-Gruppe beeinflusst bzw. reduziert die Bildung von zusätzlichen Fehlerannahmen nicht, da sich die Gruppen darin nicht signifikant unterscheiden (ANOVA, $F(2/45) = .22$, $p < .81$).

7.2.3 Symbolbasierte Fehlersuche

Im symbolbasierten Schaltplan waren fünf Fehler zu identifizieren, die im Schwierigkeitsgrad der praktischen Fehlersuchaufgabe entsprachen. Die Tabelle 37 macht deutlich, dass sich die Gruppen in der Anzahl gefundener Fehler nicht unterscheiden (ANOVA, $F(2/45) = .26$, $p < .77$). Es wurde angenommen, dass die FluidSim-Gruppe einen wesentlichen Vorteil haben sollte (siehe Unterhypothese 2.2), da sie sich während des Kurses fast ausschliesslich mit Schaltplänen auseinandersetzte. Dies schlägt sich aber nicht deutlich in ihrer Leistung nieder.

Tabelle 37: Anzahl gefundener Fehler im Schaltplan

Gruppe	Fehleranzahl		Gewichtete Fehler		N
	M	SD	M	SD	
Reale Gruppe	2.86	1.99	9.79	6.52	14
FluidSim	3.31	1.45	10.75	5.51	16
CLEAR	3.13	1.71	12.38	8.63	16

Legende: Maximal konnten fünf Fehler gefunden werden.

Die symbolbasierte Fehlersuche wurde von allen Gruppen weniger häufig richtig gelöst (siehe Tabelle 38) als die praktische Fehlersuche. Innerhalb der Gruppen zeigt sich, dass die reale Gruppe signifikant mehr Fehler in der praktischen Fehlersuche fand (t-Test,

$p < .02$, paarweise) als in der symbolbasierten Fehlersuche, wohingegen sich die FluidSim-Gruppe (t-Test, $p < .89$, paarweise) und die CLEAR-Gruppe (t-Test, $p < .18$, paarweise) innerhalb ihrer Gruppen in den beiden Aufgaben nicht unterscheiden.

Tabelle 38: Vergleich der Fehleranzahl (max. 5 Stück) zwischen den Gruppen für die praktische und symbolbasierte Fehlersuche

Gruppe	Praktische Fehlersuche		Symbolbasierte Fehlersuche		N
	M	SD	M	SD	
Reale Gruppe	4.14	1.35	2.86	1.99	14
FluidSim	3.38	1.50	3.31	1.45	16
CLEAR	3.88	1.45	3.13	1.71	16

Die Aufgliederung in die verschiedenen Fehler und ihren Schwierigkeitsgrad ergibt keinen Unterschied zwischen den Gruppen (siehe Tabelle 39).

Tabelle 39: Verteilung der gefundenen Fehler in der symbolbasierten Fehlersuche

	Fehler 1	Fehler 2	Fehler 3	Fehler 4	Fehler 5	n (alle gelöst)	N
Reale Gruppe	8	8	7	8	9	4	14
FluidSim	14	9	11	12	11	5	16
CLEAR	12	10	10	11	11	5	16

Legende: Aufteilung nach zunehmender Schwierigkeit (Fehler 1 zu Fehler 5)

Bezieht man die Fehlerschwierigkeit in den jeweiligen Fehler als Gewichtungsfaktor mit ein, so ergeben sich ebenfalls keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Gruppen (ANOVA, $F(2/45) = .53$, $p < .60$).

Die Lösungsgeschwindigkeit für die Schüler, die alle Fehler gefunden haben, zeigen auf deskriptiver Ebene, dass die Schüler der realen Gruppe tendenziell etwas schneller waren (siehe Tabelle 40).

Tabelle 40: Lösungszeit für die vollständige Lösung der symbolbasierten Fehlersuche und pro Fehler für alle Schüler

Gruppe	Gesamte Lösungszeit (Min.)			Lösungszeit pro Fehler (Min.)		
	M	SD	n	M	SD	n
Reale Gruppe	13.50	6.40	4	5.31	3.92	11
FluidSim	21.20	9.81	5	6.32	3.79	16
CLEAR	21.80	10.31	5	6.70	4.88	15

Betrachtet man die Geschwindigkeit für das Auffinden eines Fehlers über alle Schüler, so ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (ANOVA, $F(2/43) = .70$, $p < .50$).

In der schrittweisen Regression zeigt sich, dass das physikalisch-technische Problemverständnis 43% der Varianz in der symbolbasierten Fehlersuche aufklärt (siehe Tabelle 41), während die Gruppenzugehörigkeit, das pneumatische Wissen, das logische Denken und das räumliche Vorstellungsvermögen keine zusätzliche Varianz aufklären.

Tabelle 41: Schrittweise Regression für die Vorhersage der symbolbasierten Fehlersuchleistung

	R	R ²	Beta	t-Wert
Prädiktoren	.65	.43		
Physikalisch-technisches Problemverständnis			.65**	5.70
Pneumatisches Wissen			.05	.34
Gruppe			.06	.56
Logisches Denken			-.04	-.24
Räumliches Vorstellungsvermögen			.05	.35

Legende: Abhängige Variable = symbolbasierte Fehlersuche, R = multiple schrittweise Regression, R² = gemeinsame Varianz, Beta = Standardkorrelationskoeffizient, t-Wert = t-Wert des Standardkorrelationskoeffizienten, ** $p < .001$

Pneumatisches Wissen, logisches Denken und räumliches Vorstellungsvermögen korrelieren hoch mit der Anzahl gefundener Fehler in der symbolbasierten Fehlersuche (siehe Tabelle 42).

Tabelle 42: Interkorrelationsmatrix für die symbolbasierte Fehlersuche (Pearson Korrelation)

	PW	MTP	RV	LD
SF	.47**	.65**	.38**	.40**

Legende: PW = Pneumatikwissen, MTP = physikalisch-technisches Problemverständnis, RV = räumliches Vorstellungsvermögen, LD = logisches Denken, SF = symbolbasierte Fehler

Durch die hohe Interkorrelation aller drei Faktoren mit physikalisch-technischem Problemverständnis wird keine zusätzliche Varianz erklärt.

Eine Kovarianzanalyse mit Gruppe als unabhängige Variable und physikalisch-technischem Problemverständnis als Kovariate und symbolischer Fehlersuchleistung als abhängige Variable ergab keinen signifikanten Interaktionseffekt ($p < .91$).

Die letzte praktische Aufgabe (Konstruktionsaufgabe) diente der Erfassung der Umsetzung von erworbenem Fachwissen in eine zu entwickelnde Schaltung.

7.2.4 Konstruktionsaufgabe

Bei der Konstruktionsaufgabe handelte es sich um ein geschlossenes Schaltungssystem. Eine falsche Verbindung bzw. Komponente führte dazu, dass das Gesamtsystem nicht mehr funktionierte und somit die Konstruktion als falsch zu betrachten war. Streng genommen müsste also eine Auswertung auf der Basis „Konstruktion ist richtig/falsch“ erfolgen. Dieses Vorgehen erscheint weder sinnvoll noch praktikabel, da viele Teilschritte realisiert werden können, ohne eine vollständige Lösung zu erreichen. Aus diesem Grund wurde die Konstruktionsaufgabe in fünf Funktionsschritte zerlegt. Die Beurteilung, ob ein Teilschritt richtig oder falsch ist, wurde unter der Annahme vorgenommen, dass an der Komponente des jeweiligen Funktionsschrittes Druckluft anliegt. Die Aufgabe gibt wichtige Aufschlüsse über die praktische Anwendung des gelernten Wissens, da sowohl Komponentenwissen als auch Schaltungslogik für die Realisierung der Aufgabe benötigt wurden.

Tabelle 43: Anzahl an realisierten Funktionsschritten und Realisierungsgeschwindigkeit pro Schritt

Gruppe	Funktions- schritte		Realisierungs- geschwindig- keit (Min.)		N
	M	SD	M	SD	
Reale Gruppe	2.86	1.61	16.11	10.79	14
FluidSim	2.44	1.26	19.12	15.44	16
CLEAR	3.00	1.41	13.37	9.24	16

Legende: Maximal konnten fünf Funktionsschritte realisiert werden.

Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl an Funktionsschritten (ANOVA, $F(2,45) = 67$, $p < .53$) zwischen den Gruppen (siehe Tabelle 43). Die FluidSim-Gruppe konnte keinen Leistungsvorteil in der symbolbasierten Konstruktion gegenüber der realen Gruppe und der CLEAR-Gruppe (siehe Unterhypothese 2.3) erbringen. Auf der Ebene einer Rangfolge fällt auf, dass die CLEAR-Gruppe gefolgt von der realen Gruppe die meisten Funktionsschritte realisierte und die FluidSim-Gruppe, die wenigsten Funktionsschritte konstruieren konnte. Dies steht im Widerspruch zur Unterhypothese 2.4. Das Arbeiten mit multiplen Codierungen und Modalitäten scheint das Konstruktionsverständnis zu fördern bzw. nicht zu behindern. Betrachtet man alle Schüler, so ergibt sich für die Realisierungszeit eines Konstruktionsschrittes (siehe Tabelle 43) kein bedeutsamer Unterschied zwischen den Gruppen (ANOVA, $F(2/45) = .79$, $p < .46$). Die Konstruktionsaufgabe war für alle Schüler die schwierigste Aufgabe, was sich darin

äusserte, dass nur sehr wenige eine vollständige Lösung erstellen konnten. Hinsichtlich der Lösungszeit können keine Unterschiede berechnet werden, da in der FluidSim-Gruppe nur ein Schüler eine vollständige Lösung fand (siehe Tabelle 44).

Tabelle 44: Lösungsgeschwindigkeit für die Konstruktionsaufgabe

Gruppe	Lösungszeit		n
	M	SD	
Reale Gruppe	31.25	7.14	4
FluidSim	33.00	.	1
CLEAR	30.50	5.97	4

Innerhalb der einzelnen Gruppen zeigt sich zwischen der Konstruktionsaufgabe und der symbolbasierten Fehlersuche ein signifikanter Leistungsunterschied zugunsten der symbolbasierten Fehlersuche in der FluidSim-Gruppe (t-Test, $p < .02$, paarweise) und keiner in der realen Gruppe (t-Test, $p > .99$, paarweise) und der CLEAR-Gruppe (t-Test, $p < .77$, paarweise). Die FluidSim-Gruppe konnte somit mehr Fehler in einem Schaltplan finden als Funktionsschritte in Form eines Schaltplans realisieren, obwohl sie während 16 Stunden eine Konstruktionssoftware mit Symbolen im Unterricht verwendete (siehe Tabelle 45) und aktiv ihr Wissen in symbolbasierte Schaltungen umsetzen musste.

Tabelle 45: Vergleich zwischen der Anzahl gefundener Fehler in der symbolbasierten Fehlersuche und realisierter Funktionsschritte in der Konstruktionsaufgabe

Gruppe	Fehleranzahl		Funktions-schritte		N
	M	SD	M	SD	
Reale Gruppe	2.86	1.99	2.86	1.61	14
FluidSim	3.31	1.45	2.44	1.26	16
CLEAR	3.13	1.71	3.00	1.41	16

Eine schrittweise Regression zeigt, dass auch hier die Gruppenzugehörigkeit keinen bedeutsamen Zusammenhang mit dem Erfolg in der Konstruktionsaufgabe aufweist. Physikalisch-technisches Problemverständnis klärt 52% der Varianz auf. Die anderen kognitiven Fähigkeiten und pneumatisches Wissen klären keinen zusätzlichen signifikanten Anteil mehr auf (siehe Tabelle 46).

Tabelle 46: Schrittweise Regression für die Vorhersage der Konstruktionsleistung

	R	R ²	Beta	t-Wert
Prädiktoren	.72	.52		
Physikalisch-technisches Problemverständnis			.72**	6.94
Gruppe			.14	1.11
Räumliches Vorstellungsvermögen			-.05	.44
Pneumatisches Wissen			.05	.49
Logisches Denken			.04	.30

Legende: Abhängige Variable = Konstruktionsaufgabe, schrittweise Regression, R = multiple schrittweise Regression, R² = gemeinsame Varianz, Beta = Standardkorrelationskoeffizient, t-Wert = t-Wert des Standardkorrelationskoeffizienten, ** p<.001

Die hohen Korrelationen (siehe Tabelle 47) zwischen den kognitiven Fähigkeiten und der Anzahl an realisierten Funktionsschritten veranschaulicht, dass in dieser Aufgabe unterschiedlichste Fähigkeiten zur Lösung genutzt wurden.

Tabelle 47: Interkorrelationsmatrix für die Konstruktionsaufgabe, das Fachwissen und die kognitiven Fähigkeiten

	PW	MTP	RV	LD
KA	.52**	.72**	.34**	.49**

Legende: **.p<.01, *.p<.05, PW = Pneumatikwissen, MTP = physikalisch-technisches Problemverständnis, RV = räumliches Vorstellungsvermögen, LD = logisches Denken, KA = Konstruktionsaufgabe

Eine Kovarianzanalyse mit Gruppe als unabhängige Variable und physikalisch-technischem Problemverständnis als Kovariate und der Konstruktionsaufgabe als abhängige Variable ergab keinen signifikanten Interaktionseffekt (p<.24).

7.3 Zusammenfassung

Die Varianz innerhalb der Gruppen ist durchgehend grösser als die Varianz zwischen den Gruppen, was dazu führt, dass Messwerte erst bei sehr grossen Unterschieden ein signifikantes Niveau erreichen, und dass es somit unter Berücksichtigung der kleinen Stichprobe sehr unwahrscheinlich ist, Signifikanzen zu finden. So wurden auch in keiner Aufgabe signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden.

In der Fachwissensentwicklung ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede, d. h., die Multicodierung von Informationen in CLEAR fördert nicht, wie angenommen, die Fachwissensentwicklung.

Entspricht das Aufgabendarstellungsformat der Lernerfahrung (real-praktische Erfahrung in der realen Gruppe oder symbolbasierte Erfahrung in der FluidSim-Gruppe) resultierten tendenziell (nicht signifikant) bessere Leistungen. In der praktischen Fehlersuche äusserte

sich dies in einer etwas schnelleren Lösungszeit und den meisten gefundenen Fehlern der realen Gruppe im Vergleich zu den anderen. Die FluidSim-Gruppe fand den schwierigsten Fehler tendenziell seltener. Neben diesen Haupteffekten zeigt sich auf deskriptiver Ebene mittels der gewonnenen Mittelwerte, dass die CLEAR-Gruppe mit der Medienkombination sowohl in der praktischen als auch in der symbolbasierten Fehlersuche bezüglich der Anzahl gefundener Fehler zwischen der FluidSim-Gruppe und der realen Gruppe liegt. Diese Ergebnisse deuten zumindest in die Richtung der aufgestellten Unterhypothesen 2.2 und 2.3. Im Vergleich zwischen den verschiedenen praktischen Aufgaben ergibt sich im Intragruppenvergleich, dass der Leistungsunterschied in der realen Gruppe am grössten ist. Die hohe Fehlersuchleistung in der praktischen Fehlersuche konnte die reale Gruppe in der symbolbasierten Fehlersuche nicht realisieren. Im Arbeitsprotokoll der praktischen Fehlersuche ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen beschriebenen Fehlern und gefundenen Fehlern für die CLEAR-Gruppe und die FluidSim-Gruppe.

In der Konstruktionsaufgabe hat die CLEAR-Gruppe einen tendenziellen Leistungsvorteil, der nicht in die angenommene Richtung weist, da die FluidSim-Gruppe hier am schlechtesten abschnitt.

Die Ergebnisse zeigen über alle Aufgaben hinweg starke Personeneffekte, physikalisch-technisches Problemverständnis weist die höchsten Varianzaufklärungen auf. Das physikalisch-technische Problemverständnis korreliert signifikant positiv mit logischem Denken ($r = .65$) und räumlichem Vorstellungsvermögen ($r = .50$). Die gemeinsame Varianz führt dazu, dass die Faktoren keine bedeutsamen zusätzlichen Varianzanteile in den verschiedenen Regressionen aufklären. Für die Fachwissensentwicklung war neben physikalisch-technischem Problemverständnis das Vorwissen ein bedeutsamer Prädiktor. Insgesamt liefert das Fachwissen keine zusätzlichen Varianzaufklärungen. Die aufgeklärten Varianzanteile nehmen von der praktischen (19%), zur symbolbasierten Fehlersuchaufgabe (43%), zur Konstruktionsaufgabe (52%) bis hin zum Fachwissenstest (66%) zu. Es zeigen sich keine Interaktionseffekte zwischen physikalisch-technischem Problemverständnis und Lernumgebung in Bezug auf die Lernoutputvariablen. Die geringe Varianzaufklärung in der praktischen Fehlersuche deutet darauf hin, dass noch weitere Faktoren leistungsrelevant sein sollten, wie z. B. die Problemlösestrategien (siehe Kapitel 7.5).

7.4 Mentale Modelle

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Interviewauswertungen für die praktische Fehlersuche vorgestellt. Im Interview sollten die Schüler ihre Gedanken und Ideen mit Hilfe von drei Videosequenzen (Aufgabenanfang, erster Fehler gefunden, Aufgabenende) rekonstruieren. Die Kategorien Repräsentationsformat, Erklärungsstrukturen, Art der Modelle, mentale Simulation, Aufgabenformats-, Komponenten- und Simulations-schwierigkeiten sowie Unterstützungen und Analogien wurden aus den Interviews extrahiert, um die mentalen Modelle zu beschreiben. Die Güte des mentalen Modells ergab sich aus der Qualität der Zeichnung, die am Ende der praktischen Fehlersuchaufgabe angefertigt wurde.

7.4.1 Praktische Fehlersuche

7.4.1.1 Repräsentationsformat

Die Schüler repräsentieren die praktische Fehlersuche je nach Gruppenzugehörigkeit mental unterschiedlich (Chi-Quadrat, $p < .01$). Die reale Gruppe arbeitete ausschliesslich und die CLEAR-Gruppe überwiegend mit einer real-bildlichen mentalen Repräsentation (siehe Tabelle 48). Die FluidSim-Gruppe verwendete weitgehend eine symbolische Repräsentation (symbolisches Format). Die Lernumgebung zeigt somit einen Einfluss auf die mentale Aufgabenrepräsentation. Die Schüler verwendeten vor allem das Format mit dem sie im Unterricht arbeiteten und orientierten sich nicht am vorgegebenen Aufgabenformat (reale Komponenten), sondern transformierten dieses in das ihnen bekanntere Format. Hypothese 3 ist damit bestätigt.

Tabelle 48: Repräsentationsformat der praktischen Fehlersuche

Gruppe	Real-bildliches Format	Symbolisches Format	Gemischtes Format	n
Reale Gruppe	8	0	0	8
FluidSim	2	6	1	9
CLEAR	7	1	2	10

7.4.1.2 Erklärungsstrukturen

Die Anzahl der Erklärungen pro Interview, unterteilt in operationale Erklärungen und funktionale Erklärungen, sind in Tabelle 49 dargestellt. Insgesamt gaben die Schüler aller Gruppen mehr richtige als falsche Erklärungen über Komponenten und Systemverhalten

ab. Sie verfügten über ein ausreichendes Systemverständnis. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit dem Ergebnis im Fachwissenstest.

Die durchschnittliche Anzahl an verschiedenen Erklärungen innerhalb der Gruppen ist unterschiedlich. So gaben Schüler der CLEAR-Gruppe (t-Test, $p < .05$, paarweise) und der FluidSim-Gruppe (t-Test, $p < .04$, paarweise) wesentlich mehr operationale Erklärungen als funktionale Erklärungen ab. Das Verhältnis ist in der realen Gruppe ausgeglichen (t-Test, $p < .86$, paarweise).

Tabelle 49: Anzahl an Erklärungen bei der Bearbeitung der praktischen Fehlersuche

Gruppe	Operationale Erklärung (richtig)			Operationale Erklärung (falsch)			Funktionale Erklärung (richtig)			Funktionale Erklärung (falsch)		
	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n
Reale Gruppe	4.20	2.25	10	2.00	1.22	5	4.27	3.26	11	1.00	.00	2
FluidSim	5.00	2.05	10	3.33	1.15	3	3.29	1.11	7	2.00	1.41	2
CLEAR	6.64	2.11	11	1.50	.53	8	4.50	2.27	8	1.00	.00	2

Die Gruppen zeigen bedeutsame Unterschiede in der Anzahl an richtigen operationalen Erklärungen (ANOVA, $F(2/30) = 3.57$, $p < .04$). Die CLEAR-Gruppe weist signifikant (Scheffé, $p < .05$) mehr richtige operationale Erklärungen auf als die reale Gruppe. Drei FluidSim-Schüler gaben im Durchschnitt mehr falsche operationale Erklärungen ab als acht Schüler der CLEAR-Gruppe. In der Anzahl an richtigen funktionalen Erklärungen lassen sich keine Unterschiede feststellen (ANOVA, $F(2/25) = .48$, $p < .63$). Funktional falsche Erklärungen wurden insgesamt fast keine von den Schülern abgegeben. Das Lernen mit den verschiedenen Lerntechnologien führt somit zu einer unterschiedlichen Anzahl an verschiedenen Erklärungsstrukturen innerhalb der Gruppen und zwischen den Gruppen.

Hinsichtlich der Komplexität der Erklärungsstrukturen, die sich aus dem Quotienten aus Anzahl Erklärungen und Erklärungsumfang ergibt, weisen die Gruppen für operational richtige Erklärungen (ANOVA, $F(2/30) = 1.13$, $p < .29$; Levene, $p < .05$; Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 5.51$, $df = 2$, $p < .06$), operational falsche Erklärungen (ANOVA, $F(2/15) = 2.01$, $p < .16$) und funktional richtige Erklärungen (ANOVA, $F(2/25) = 1.87$, $p < .18$) keine Unterschiede auf (siehe Tabelle 50). Funktional falsche Erklärungen wurden insgesamt sehr wenige abgegeben, so dass hier kein Test zur Anwendung kommt. Im Durchschnitt gaben die Schüler sowohl funktionale als auch operationale Erklärungen über den Zusammenhang von zwei Komponenten ab. Die unterschiedlichen Lernsysteme beeinflussen die

Ausbildung von unterschiedlich komplexen Erklärungsstrukturen nicht (siehe Hypothese 4).

Tabelle 50: Komplexitätsgrad der Erklärungen bei der Bearbeitung der praktischen Fehlersuche

Gruppe	Operationaler Komplexitätsgrad (richtig)			Operationaler Komplexitätsgrad (falsch)			Funktionaler Komplexitätsgrad (richtig)			Funktionaler Komplexitätsgrad (falsch)		
	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n
Reale Gruppe	1.95	.28	10	2.25	.79	5	2.11	.71	11	2.00	1.41	2
FluidSim	1.81	.18	10	2.42	.52	3	1.86	.55	7	1.00	.00	2
CLEAR	2.09	.60	11	1.69	.53	8	1.56	.48	8	1.50	.71	2

7.4.1.3 Art der mentalen Modelle

Für die Lösung der praktischen Fehlersuche wurden vor allem Schritt-für-Schritt-Modelle entwickelt (siehe Tabelle 51). Die Schüler konstruierten Modelle über die Schaltung, indem sie jeweils einige Komponenten gedanklich miteinander verbanden und sich vorstellten, was passieren müsste, wenn nun Druckluft anliegen würde. Als Ausgangsbasis für die Modellbildung orientierten sie sich in den meisten Fällen an den vier in der Aufgabe beschriebenen Funktionsschritte. War ein Funktionsschritt abgeschlossen, so dachten sie nicht mehr an diesen und gingen einen Schritt weiter. In der realen Gruppe und in der CLEAR-Gruppe gab es je zwei Schüler, die ein vollständiges mentales Modell der Aufgabe repräsentierten und mit diesem die Aufgabe lösten (siehe Tabelle 51).

Die Gruppen unterscheiden sich bezüglich der Verteilung der verschiedenen mentalen Modelle nicht signifikant (Chi-Quadrat, $p < .60$). Hypothese 5 lässt sich nicht bestätigen.

Tabelle 51: Mentale Modelle

Gruppe	Mentale Modelle			n
	vollständig	Subsysteme	Schritt-f.-Schritt	
Reale Gruppe	2	2	7	11
FluidSim	0	1	9	10
CLEAR	2	2	7	11
n	4	5	23	32

7.4.1.4 Simulation

In der Verwendung von mentalen Simulationen zeigen die Gruppen keine signifikanten Unterschiede (Chi-Quadrat, $p < .18$) (siehe Tabelle 52). Die CLEAR-Gruppe beschreibt die meisten mentalen Simulationen.

Tabelle 52: Auswertung der mentalen Simulationen

Gruppe	Mentale Simulation		n
	vorhanden	nicht vorhanden	
Reale Gruppe	4	7	11
FluidSim	4	6	10
CLEAR	8	3	11
n	16	16	32

7.4.1.5 Aufgabenformatsschwierigkeiten

Die Schüler hatten keine besonderen Schwierigkeiten mit dem realen Aufgabenformat, beispielsweise mit dem Hantieren von Komponenten oder dem Herstellen von Schlauchverbindungen.

Tabelle 53: Angaben über Aufgabenformatsschwierigkeiten

Gruppe	Aufgabenformatsschwierigkeiten		n
	vorhanden	nicht vorhanden	
Reale Gruppe	1	10	11
FluidSim	1	9	10
CLEAR	1	10	11
n	3	29	32

7.4.1.6 Simulationsschwierigkeiten

Die Schüler schilderten fast keine Simulationsschwierigkeiten (siehe Tabelle 54).

Tabelle 54: Schwierigkeiten, die Schaltung mental zu simulieren

Gruppe	Simulationsschwierigkeiten		n
	vorhanden	nicht vorhanden	
Reale Gruppe	0	11	11
FluidSim	0	10	10
CLEAR	1	10	11
n	1	31	32

Hierbei sollte man in Betracht ziehen, dass eine mentale Simulation zur Aufgabenlösung nicht notwendig ist, da das System einfach unter Druckluft real simuliert werden kann.

7.4.1.7 Komponentenschwierigkeiten

Die Gruppen unterscheiden sich in der Beschreibung von Komponentenschwierigkeiten (Chi-Quadrat, $p < .02$). Die CLEAR-Gruppe und die FluidSim-Gruppe hatten mehr Schwierigkeiten mit den Komponenten als die reale Gruppe. Dass neun Schüler der

CLEAR-Gruppe Schwierigkeiten beschrieben, ist erstaunlich, da sie während des gesamten Unterrichts mit realen Komponenten gearbeitet hatten.

Tabelle 55: Komponentenschwierigkeiten

Gruppe	Komponentenschwierigkeiten		n
	vorhanden	nicht vorhanden	
Reale Gruppe	4	7	11
FluidSim	9	1	10
CLEAR	9	2	11
n	22	10	32

Die Aufgliederung in die Komponenten (siehe Tabelle 56) zeigt, dass die meisten Schüler aller Gruppen mit dem 5/2-Wege-Ventil und Schüler der FluidSim-Gruppe ausserdem mit den Schläuchen Schwierigkeiten hatten, d. h., sie konnten sich nicht vorstellen, wie die Verbindungen verlaufen und wie sie korrekt sein sollten. Dieser Sachverhalt ist relativ gut nachvollziehbar, da in FluidSim die Schläuche sauber nebeneinander und wesentlich übersichtlicher angeordnet sind. Wenn es zu Schlauchüberschneidungen kommt, meldet die Software das dem Nutzer und fragt, ob das auch so bleiben soll.

Tabelle 56: Aufteilung der Schwierigkeiten der Schüler nach Komponenten in der Bearbeitung der praktischen Fehlersuche

	5/2	Schläuche	ODER	Drossel	UND	Zylinder	T-Stück	Startknopf	n
Reale Gruppe	2	0	1	1	0	0	0	1	4
FluidSim	7	6	2	2	0	0	2	0	9
CLEAR	8	1	0	0	1	1	0	0	9

Legende: 5/2 = 5/2-Wege-Ventil, ODER-Ventil, UND-Ventil

7.4.1.8 Unterstützung

Hinsichtlich der Unterstützung wünschten sich aus der realen Gruppe zwei Schüler einen Schaltplan, aus der FluidSim-Gruppe jeweils einer eine Komponentenbeschreibung und einer das Hilfefenster und aus der CLEAR-Gruppe jeweils einer eine Komponentenbeschreibung und einer einen Schaltplan.

7.4.1.9 Analogien

Insgesamt wurden kaum Analogien zur Aufgabenlösung eingesetzt. Die wenigen Analogien bezogen sich auf elektrische Schaltkreise, Wasser in einer Rohrleitung, Schach und mathematische Gleichungen. In der CLEAR-Gruppe wurden vier Analogien zur Hilfe genommen und in den anderen Gruppen jeweils nur eine.

7.4.1.10 Güte der mentalen Modelle

Die Güte der mentalen Modelle wurde anhand von Zeichnungen beurteilt. Die Zeichnungen wurden als vollkommen korrekt beurteilt, wenn alle richtigen Komponenten und Anschlüsse enthalten waren. Wenn z. B. eine Verbindung nicht stimmte, wurde die Zeichnung als teilweise korrekt bezeichnet. Insgesamt ist festzuhalten, dass es den Schülern nicht schwer gefallen ist, die Zeichnung anzufertigen, obwohl sie dabei ihre reale Schaltung nicht verwenden durften, sondern nur die Aufgabenstellung als Grundlage zur Verfügung stand.

Die Schüler, die die praktische Fehlersuche vollständig lösten, hatten signifikant mehr korrekte mentale Modelle (Fisher's Test, $p < .01$; siehe Tabelle 57). Die Güte der internen Repräsentation korrespondiert also mit der Lösungsgüte der praktischen Fehlersuche. Schüler, die in der praktischen Fehlersuche keine richtige Lösung fanden, hatten meistens nur korrekte mentale Teilmodelle. Ausserdem gab es mehr Schüler, die eine richtige Lösung gefunden hatten und ein teilweise korrektes mentales Modell aufwiesen als Schüler ($n = 8$), die ein korrektes mentales Modell hatten und die Aufgabe nicht lösen konnten ($n = 4$). Das lässt darauf schliessen, dass ein korrektes mentales Modell von Vorteil, aber für die Aufgabenlösung nicht unbedingt notwendig ist.

Tabelle 57: Gegenüberstellung des mentalen Modells mit der Leistung in der praktischen Fehlersuche

Praktische Fehlersuche	Güte des mentalen Modells		n
	korrekt	nicht korrekt	
gelöst	16	8	24
nicht gelöst	4	18	22
n	20	26	46

Die Analyse nach Gruppen zeigt ein ähnliches Bild. Einzig in der CLEAR-Gruppe ist der Unterschied zwischen korrektem mentalen Modell und richtiger Lösung nicht so stark ausgeprägt. Ein statistischer Vergleich scheint aufgrund der geringen Anzahl Schüler pro Zelle nicht sinnvoll.

Tabelle 58: Gegenüberstellung des mentalen Modells mit der Leistung in der praktischen Fehlersuche nach Gruppen

Praktische Fehlersuche		Güte des mentalen Modells		n
		korrekt	nicht korrekt	
Reale Gruppe	gelöst	7	2	9
	nicht gelöst	1	4	5
FluidSim	gelöst	4	2	6
	nicht gelöst	2	8	10
CLEAR	gelöst	5	4	9
	nicht gelöst	1	6	7
n		20	26	46

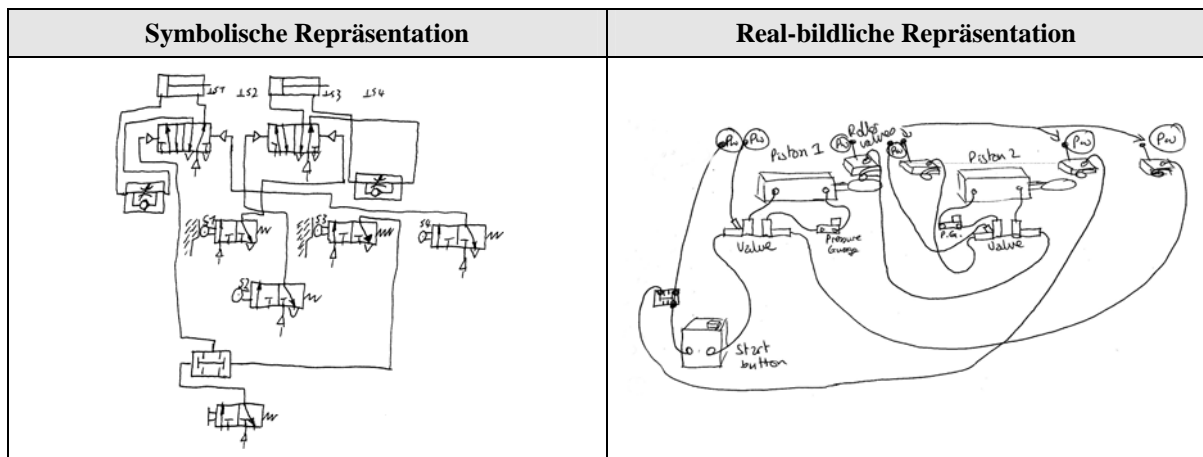
Bezüglich des Repräsentationsformats zeigt sich, dass 42 der 46 Schüler eine Zeichnung mit Symbolen oder Kästchen mit Komponentenbezeichnung anfertigten (siehe Tabelle 59).

Tabelle 59: Gewähltes Format in der Zeichnung

Gruppe	Symbolisch	Real-bildlich	Leere Kästen	N
Reale Gruppe	9	2	3	14
FluidSim	13	1	2	16
CLEAR	12	1	3	16

Es könnte sein, dass die Schüler trotz der klaren Instruktion angenommen haben, eine Zeichnung nur in Form von Symbolen anfertigen zu dürfen. Somit ist die Interpretation des Repräsentationsformates problematisch und wird nicht weiter ausgeführt. Die Abbildung 12 ist eine Illustration der verschiedenen Repräsentationsformate.

Abbildung 12: Zeichnungen von zwei Schülern



7.4.2 Symbolbasierte Fehlersuche

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die 32 Interviews, die im Anschluss an die symbolbasierte Fehlersuche geführt wurden. Die Schüler erhielten während des Interviews den Schaltplan als Erinnerungshilfe vorgelegt.

7.4.2.1 Repräsentationsformat

Die Schüler repräsentierten die symbolbasierte Fehlersuche mental ähnlich (Chi-Quadrat, $p < .44$). Im Gegensatz zur praktischen Fehlersuche gab es mehr Schüler, die gemischte Formate wählten, die sowohl real-bildliche als auch symbolbasierte Elemente enthielten. In der FluidSim-Gruppe gibt es eine kleine Tendenz (ähnlich wie in der praktischen Fehlersuche) zur symbolischen Repräsentation. Wenn man die Repräsentationsformate aus beiden Aufgaben zusammen nimmt, so kann man in der FluidSim-Gruppe von einer stärkeren symbolischen Repräsentation ($n = 11$) sprechen und in den beiden anderen Gruppen von real-bildlichen (reale Gruppe, $n = 12$; CLEAR-Gruppe, $n = 11$) und gemischten Repräsentationen (reale Gruppe, $n = 4$; CLEAR-Gruppe, $n = 6$).

Tabelle 60: Repräsentationsformat der symbolbasierten Fehlersuche

Gruppe	Real- bildliches Format	Symbolisches Format	Gemischtes Format	n
Reale Gruppe	4	2	4	10
FluidSim	2	5	1	8
CLEAR	4	4	4	12

7.4.2.2 Erklärungsstruktur

Die Anzahl an Erklärungen pro Interview, unterteilt in operationale Erklärungen und funktionale Erklärungen, sind in Tabelle 61 dargestellt. Insgesamt gaben die Schüler aller Gruppen mehr richtige als falsche Erklärungen über die Symbole und Schaltungsverhalten ab. Sie verfügten über ein ausreichendes Systemverständnis. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit dem Ergebnis im Fachwissenstest.

Die Verteilung der Erklärungen innerhalb der Gruppen ist nicht unterschiedlich. So gaben Schüler der realen Gruppe (t-Test, $p > .99$, paarweise), der FluidSim-Gruppe (t-Test, $p > .67$, paarweise) und der CLEAR-Gruppe (t-Test, $p < .64$, paarweise) gleich umfangreiche operational wie funktional richtige Erklärungen ab.

Die Gruppen zeigen keine bedeutsamen Unterschiede in der Anzahl an richtigen operationalen Erklärungen (ANOVA, $F(2/29) = .44$, $p < .65$) und der Anzahl an richtigen

funktionalen Erklärungen (ANOVA, $F(2/27) = .60$, $p < .56$). Operational und funktional falsche Erklärungen gaben wenig Schüler ab. Diese wurden deshalb keinen statistischen Tests unterzogen. Das Lernen mit den neuen Lerntechnologien führt somit nicht zu unterschiedlichen Erklärungsumfängen und Erklärungsstrukturen beim Lösen der symbolbasierten Fehlersuche.

Tabelle 61: Anzahl an Erklärungen bei der Bearbeitung der symbolbasierten Fehlersuche

Gruppe	Operationale Erklärung (richtig)			Operationale Erklärung (falsch)			Funktionale Erklärung (richtig)			Funktionale Erklärung (falsch)		
	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n
Reale Gruppe	3.10	1.85	10	1.00	.00	6	2.64	2.34	11	1.00	.	1
FluidSim	3.30	1.89	10	2.00	1.00	3	2.88	1.81	8	1.00	.	1
CLEAR	3.90	2.18	10	2.50	.71	2	3.78	2.86	9	1.00	.	1

Hinsichtlich der Komplexität der Erklärungsstrukturen, die sich aus dem Quotienten aus Anzahl Erklärungen und Erklärungsumfang ergibt, weisen die Gruppen für operational richtige Erklärungen (ANOVA, $F(2/29) = .86$, $p < .43$) und funktional richtige Erklärungen (ANOVA, $F(2/27) = .30$, $p < .74$) keine Unterschiede auf (siehe Tabelle 62). Funktional und operational falsche Erklärungen wurden insgesamt sehr wenige abgegeben, so dass hier kein Tests zur Anwendung kommen.

Im Durchschnitt geben die Schüler sowohl funktionale als auch operationale Erklärungen über den Zusammenhang von zwei bis drei Komponenten ab. Die Lernsysteme führen damit bei den Schülern nicht wie angenommen zur Ausbildung von unterschiedlich komplexen Erklärungsstrukturen (siehe Hypothese 4).

Tabelle 62: Komplexitätsgrad der Erklärungen bei der Bearbeitung der symbolbasierten Fehlersuche

Gruppe	Operationaler Komplexitätsgrad (richtig)			Operationaler Komplexitätsgrad (falsch)			Funktionaler Komplexitätsgrad (richtig)			Funktionaler Komplexitätsgrad (falsch)		
	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n
Reale Gruppe	2.80	.89	10	2.17	1.60	6	2.14	1.17	11	1.00	.	1
FluidSim	2.35	.93	10	2.06	.82	3	1.88	.62	8	1.00	.	1
CLEAR	2.76	.72	10	2.83	1.65	2	2.21	.85	9	5.00	.	1

Im Vergleich zur praktischen Fehlersuche gaben die reale Gruppe (t-Test, $p < .08$, paarweise) und die FluidSim-Gruppe (t-Test, $p < .08$, paarweise) tendenziell und die CLEAR-Gruppe signifikant (t-Test, $p < .04$, paarweise) komplexere operational richtige

Erklärungen in der symbolbasierten Fehlersuche ab. Nur die CLEAR-Gruppe weist auch im Bereich der funktionalen Erklärungskomplexität ein höheres Niveau als in der praktischen Fehlersuche auf (t-Test, $p < .01$, paarweise).

7.4.2.3 Art der mentalen Modelle

Die Art der mentalen Modelle wurde auf der Basis einer Gesamtbeurteilung des Interviews vorgenommen. Die in der Bearbeitung der symbolbasierten Fehlersuche entwickelten mentalen Modelle haben keine eindeutige Tendenz zu Schritt-für-Schritt-Modellen wie in der praktischen Fehlersuche. Die Gruppen unterscheiden sich zwar nicht signifikant (Chi-Quadrat, $p < .59$), doch zeigt sich, dass in der CLEAR-Gruppe und der realen Gruppe etwas mehr vollständige mentale Modelle vorhanden sind (siehe Tabelle 63). Hypothese 5 kann nicht bestätigt werden.

Tabelle 63: Gebildete mentale Modelle bei der Bearbeitung der symbolbasierten Fehlersuche

Gruppe	Mentale Modelle				n
	keines	vollständig	Subsysteme	Schritt-f.-Schritt	
Reale Gruppe	0	3	3	5	11
FluidSim	1	1	1	7	10
CLEAR	1	4	2	4	11
n	2	8	6	16	32

Bei zwei Schülern war es nicht möglich, ein mentales Modell zuzuordnen, da sie keinerlei Erklärungen über ihre Bearbeitungsart abgaben.

7.4.2.4 Simulationen

Die Anzahl an mentalen Simulationen ist in den Gruppen vergleichbar (Chi-Quadrat, $p < .62$) (siehe Tabelle 64).

Tabelle 64: Anzahl an Simulationen in der symbolbasierten Fehlersuche

Gruppe	Mentale Simulation		n
	vorhanden	nicht vorhanden	
Reale Gruppe	8	3	11
FluidSim	7	3	10
CLEAR	6	5	11
n	21	11	32

Insgesamt wurden von mehr Schülern mentale Simulationen beschrieben ($n = 21$) als in der praktischen Fehlersuche ($n = 16$).

7.4.2.5 Aufgabenformatsschwierigkeiten

Die Gruppen unterscheiden sich nicht in der Beschreibung von Aufgabenformatsschwierigkeiten (Chi-Quadrat, $p < .30$). Insgesamt sind ebenfalls, wie bei der praktischen Fehlersuche, die Aufgabenformatsschwierigkeiten relativ gering (siehe Tabelle 65).

Tabelle 65: Anzahl an Schwierigkeiten in der symbolbasierten Fehlersuche

Gruppe	Aufgabenformatsschwierigkeiten		n
	vorhanden	nicht vorhanden	
Reale Gruppe	4	7	11
FluidSim	2	8	10
CLEAR	1	10	11
n	7	25	32

7.4.2.6 Simulationsschwierigkeiten

Sehr wenige Schüler schilderten Simulationsprobleme. Sie konnten sich die symbolbasierte Fehlersuchaufgabe im Kopf gut vorstellen (siehe Tabelle 66).

Tabelle 66: Anzahl an Simulationsschwierigkeiten in der symbolbasierten Fehlersuche

Gruppe	Simulationsschwierigkeiten		n
	vorhanden	nicht vorhanden	
Reale Gruppe	2	9	11
FluidSim	2	8	10
CLEAR	1	10	11
n	5	27	32

7.4.2.7 Komponentenschwierigkeiten

Die Schüler beschrieben weniger Probleme beim Arbeiten mit den Symbolen ($n = 14$, siehe Tabelle 67) als mit den realen Komponenten ($n = 22$, siehe Tabelle 53).

Tabelle 67: Komponentenschwierigkeiten mit den Symbolen

Gruppe	Komponentenschwierigkeiten		n
	vorhanden	nicht vorhanden	
Reale Gruppe	5	6	11
FluidSim	3	7	10
CLEAR	6	5	11
n	14	18	32

Auch hier unterscheiden sich die Gruppen nicht signifikant bezüglich der Schüler, die Komponentenschwierigkeiten beschrieben (Chi-Quadrat, $p < .52$).

Eine Auftrennung in die Komponenten ergibt, dass insbesondere das Zeitverzögerungsventil der CLEAR-Gruppe Schwierigkeiten bereitete (siehe Tabelle 68).

Tabelle 68: Aufteilung der Schwierigkeiten nach Komponenten in der symbolbasierten Fehlersuche

Gruppe	5/2-Wege-Ventil	Zeitverzögerung	Startknopf	Rollentaster	T-Stück	n
Reale Gruppe	2	1	1	1	0	5
FluidSim	2	1	0	0	0	3
CLEAR	2	5	0	0	1	6

7.4.2.8 Unterstützung

Nur ein Schüler der FluidSim-Gruppe wünschte sich das Hilfefenster als Unterstützungsform für das Lösen der symbolbasierten Fehlersuchaufgabe.

7.4.2.9 Analogien

Die verwendeten Analogien beziehen sich auf elektrische Stromkreise (reale Gruppe, n = 1; CLEAR-Gruppe, n = 1) oder Autos, die sich auf einer Strasse entgegen kommen (FluidSim-Gruppe, n = 1) oder einen Hasen, der durch die Rohrleitungen springt (CLEAR-Gruppe, n = 1).

7.4.3 Zusammenfassung

In der praktischen Fehlersuche zeigt sich, dass eine medienspezifische mentale Repräsentation der Wissens Elemente gebildet wird. Die reale Gruppe und die CLEAR-Gruppe verwendeten insbesondere das real-bildliche Format und die FluidSim-Gruppe ein symbolbasiertes Format, womit die Hypothese 3 gestützt wird. Die Medienkombination (CLEAR) führt zur Verwendung von signifikant mehr richtigen operationalen Erklärungen als das rein gegenständliche Arbeiten. Das Lernen mit Simulationssoftware für Pneumatik führt zu einer stärkeren Verwendung von wenn-dann-Erklärungen als wenn-dann-weil-Erklärungen im praktischen Problemlöseprozess. Die Erklärungskomplexität (Anzahl involvierte Elemente in jeder Erklärung) unterscheidet sich nicht zwischen den Gruppen. Die Wissensnutzung findet also auf einem vergleichbaren Komplexitätsgrad statt, was gegen die Hypothese 4 spricht. Von den Schülern wurden überwiegend Schritt-für-Schritt-Modelle der realen Schaltung entwickelt. Vollständige Modelle kommen nur in der realen Gruppe und in der CLEAR-Gruppe vor, wodurch die Hypothese 5 teilweise gestützt wird. Die CLEAR-Gruppe simulierte die mentalen Modelle tendenziell etwas häufiger als die anderen Gruppen. Die Schüler mit einem vollständig richtigen mentalen Abbild lösten die praktische Fehlersuche signifikant öfter. Die reale Gruppe beschrieb signifikant weniger

Probleme mit den realen Komponenten als die anderen Gruppen. Neben dem 5/2-Wege-Ventil, das in allen Gruppen Schwierigkeiten bereitete, zeigte die FluidSim-Gruppe, dass sie mit dem Behalten von Schlauchverbindungen Schwierigkeiten hatte.

In der symbolbasierten Fehlersuche wurden von allen Gruppen verschiedenste Repräsentationsformate verwendet. In der Anzahl an Erklärungsstrukturen unterscheiden sich die Gruppen nicht. Auch innerhalb der Gruppen lassen sich für die Anzahl an Erklärungsstrukturen keine Unterschiede feststellen. Im Vergleich zur praktischen Fehlersuche gaben die reale Gruppe und die FluidSim-Gruppe tendenziell und die CLEAR-Gruppe signifikant komplexere operational richtige Erklärungen ab. Die CLEAR-Gruppe weist auch im Bereich der funktionalen Erklärungen ein höheres Komplexitätsniveau als in der praktischen Fehlersuche auf. Die Art der mentalen Modelle sind tendenziell in Richtung Schritt-für-Schritt-Modelle ausgeprägt. In den Komponentenschwierigkeiten zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede, insgesamt hatten die Schüler mit der symbolbasierten Fehlersuche weniger Schwierigkeiten als mit der praktischen Fehlersuche und bildeten komplexere Erklärungsstrukturen mit bis zu drei Elementen aus.

7.5 Problemlösestrategien

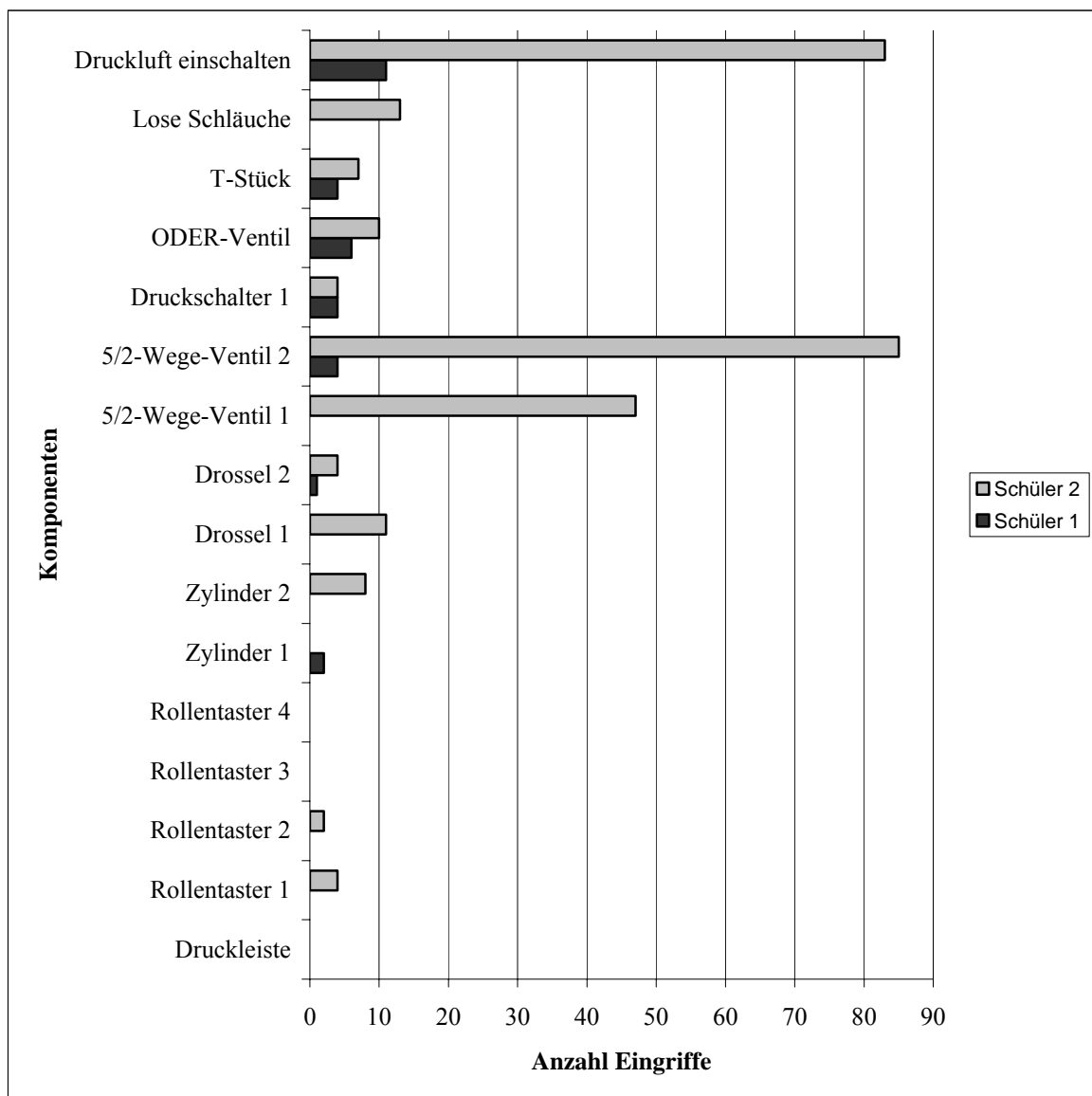
Im folgenden Abschnitt werden die Problemlösestrategien präsentiert, die aus Interview- und Verhaltensdaten abgeleitet wurden. Sie sollen einen möglichen Zusammenhang zu den verschiedenen Lernsystemen aufzeigen (siehe Kapitel 1.5).

7.5.1 Praktische Fehlersuche

Die in der praktischen Fehlersuche zur Anwendung kommenden Operatoren sind dadurch gekennzeichnet, dass sich sämtliche Systemeingriffe rückgängig machen lassen (hohe Reversibilität), eine kleine Veränderung dazu führt, dass das Gesamtsystem in vorgeschriebener Art und Weise funktionieren kann (hohe Wirkungsbreite) und bei richtigem Einsatz die Wirkungssicherheit hoch ist. Die Schwierigkeit für den Problemlöser liegt in der Bedingtheit der Operatorenanwendung, d. h., sie können nur unter ganz bestimmten Bedingungen sinnvoll eingesetzt werden. Dies führt zur Notwendigkeit, möglichst den gesamten Systemzustand mental zu repräsentieren, um den richtigen Operator auswählen zu können, was eine hohe Belastung des Arbeitsgedächtnisses verursacht (Dörner, 1995). In Anlehnung an Dörner (1974), der verschiedene Wandlungsoperatoren (Anfüge-, Trenn-, Tauschoperatoren) unterscheidet, werden insbesondere die Trenn- und Anfügeoperatoren (d. h. das Lösen und Verbinden von Komponenten), der Veränderungsort und die Reihenfolge betrachtet. Den Schülern standen drei Komponenten zum Auswechseln bzw. zusätzlichen Einbau in das System zur Verfügung (Tauschoperatoren), wobei zwei Komponenten für die richtige Lösung notwendig waren. Im Lösungsprozess wechselten acht Schüler mit der Trial & Error-Strategie zwischen ein und neun Mal Komponenten, fünf Schüler der symptomatischen Strategie zwischen ein und vier Mal Komponenten und fünf Schüler der schrittweisen Strategie zwischen ein und neun Mal Komponenten, die nicht zur Annäherung an die Lösung führten. Im gesamten Lösungsprozess nehmen diese Tauschoperatoren einen sehr kleinen Handlungsanteil ein und werden deshalb nicht weiter betrachtet.

Die Abbildung 13 macht auf deskriptiver Ebene deutlich, mit welchen Handlungsschritten die praktische Fehlersuchaufgabe bearbeitet wurde. Als Veranschaulichung werden zwei Extrempole verwendet: Schüler (1) mit den wenigsten Eingriffen und Schüler (2) mit den meisten Eingriffen. Schüler (1) löste die Aufgabe in 10 Minuten und Schüler (2) in 51 Minuten.

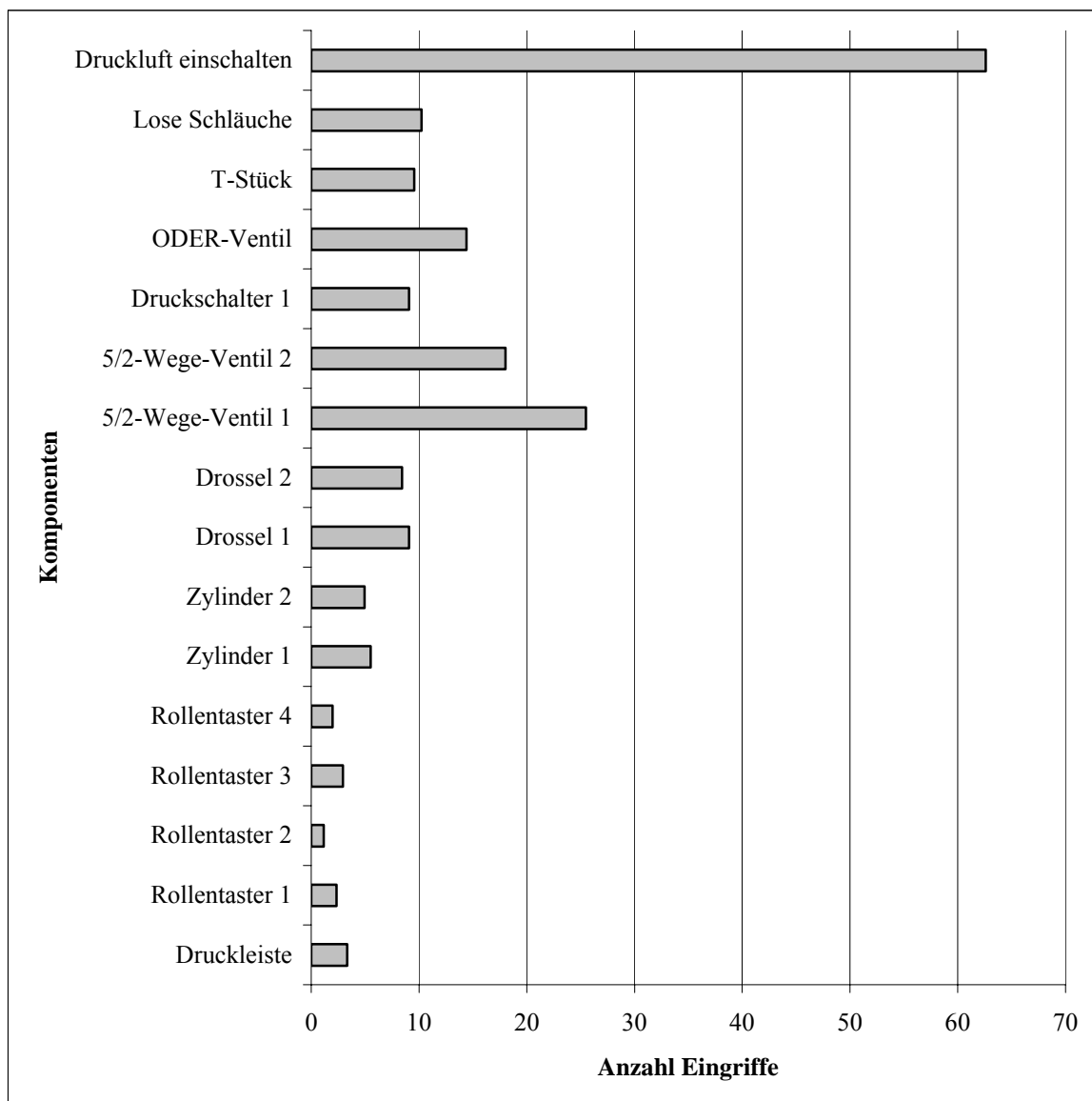
Abbildung 13: Verhaltensdaten des Schülers mit den wenigsten Eingriffen (1) und den meisten Eingriffen (2)



Insgesamt lösten die Schüler mit der vollständigen Lösung (24) die praktische Fehlersuche mit 24 bis 265 Systemveränderungen inklusive Druckluft einschalten und mit 15 bis 182 Handlungsschritten ohne Druckluft einschalten (nur Anzahl Komponenten- und Anschlussveränderungen).

Die Schüler, die keine vollständige Lösung fanden ($n = 22$), machten 117 bis 348 Eingriffe mit Druckluft einschalten und 79 bis 245 Handlungsschritte ohne Druckluft einschalten innerhalb von 60 Minuten Lösungszeit.

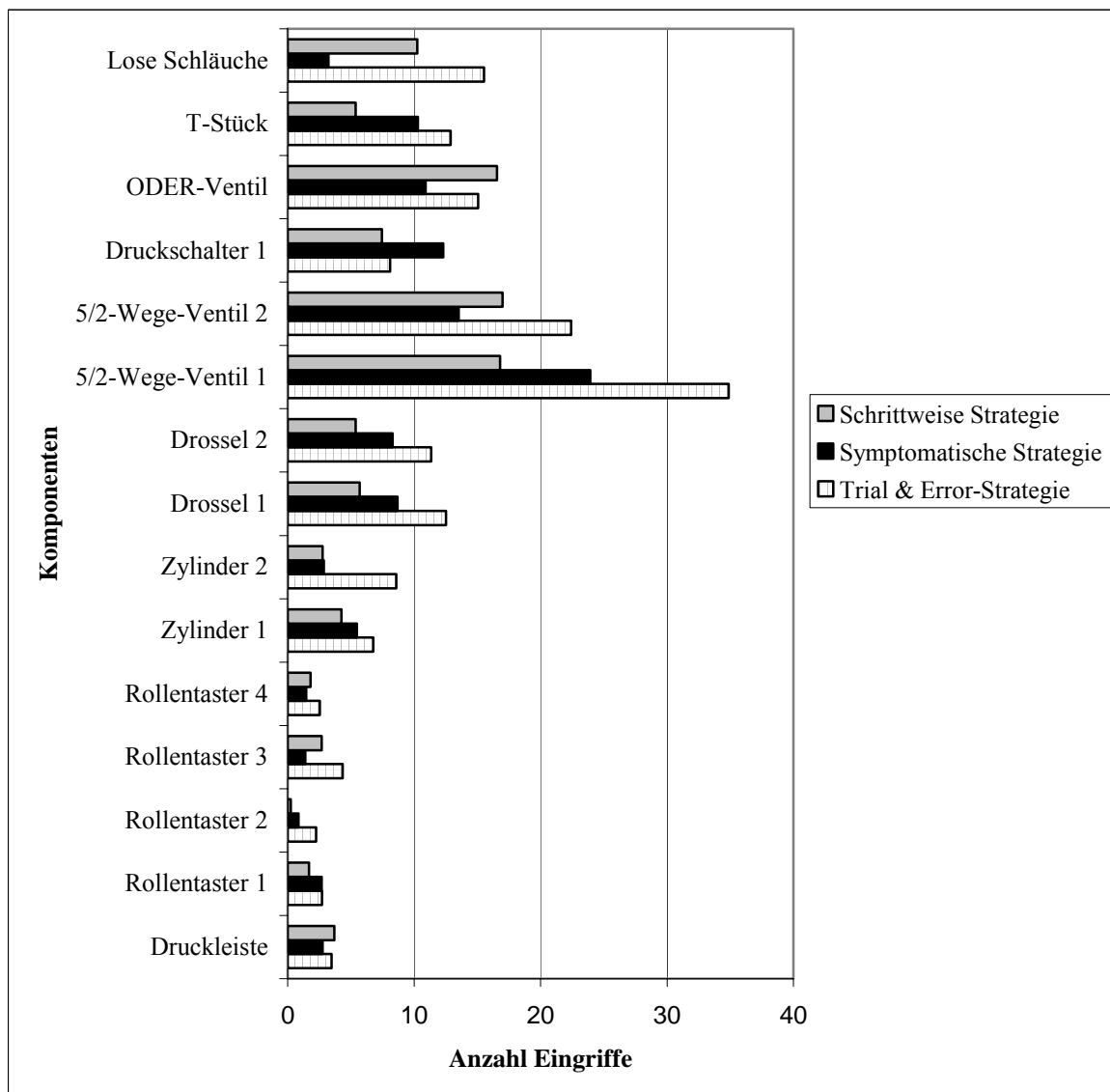
Abbildung 14: Durchschnittliche Anzahl Systemeingriffe über alle Schüler



Die Abbildung 14 veranschaulicht, wo die Schüler im Durchschnitt die meisten Systemeingriffe ausführten. Zum einen fällt auf, dass sie das System sehr oft real simulierten (Druckluft einschalten). Die meisten Veränderungen wurden am ersten 5/2-Wege-Ventil 1 vorgenommen, um den Zylinder 1 bei der Systemsimulation in die Ausgangsstellung zu bringen, gefolgt von dem zweiten 5/2-Wege-Ventil für die Ansteuerung des zweiten Zylinders. Das ODER-Ventil wurde sehr häufig ein- und ausgebaut, obwohl es eigentlich nur ausgewechselt werden musste. Auffällig ist, dass die Schüler oft das System mit offenen Schläuchen simulierten, was in der Praxis ein Unfallrisiko darstellt.

Es wurde angenommen, dass das Bilden der Strategien durch die Struktur der verschiedenen Lernumgebungen (z. B. Art des Schaltungsaufbaus und der Schaltungssimulation) beeinflusst wird. Wie im Methodenteil (siehe Kapitel 4.2.7.1 bis 4.2.7.3) beschrieben, lassen sich drei verschiedene, aus den Interview- und Verhaltensdaten gewonnene Strategien unterscheiden: die Trial & Error-Strategie, die schrittweise Strategie und die symptom-basierte Strategie.

Abbildung 15: Mittelwerte der Anzahl Eingriffe pro Strategie in der praktischen Fehlersuche



Die Abbildung 15 veranschaulicht die mittleren Eingriffshäufigkeiten pro Strategie. Die Unterschiede sind eine Plausibilitätsprüfung der Strategien auf der Verhaltensebene. Die reine Verhaltensbeschreibung der Strategien ist relativ wenig aussagekräftig. Die Strategien ergeben sich aus der Verknüpfung des Interviewmaterials und der

Verhaltensdaten bzw. einer differenzierten Betrachtung der Verhaltensdaten durch den Rater, wobei die Reihenfolge der Eingriffsorte, das Verweilen an einem Ort und der Ortswechsel in Verbindung mit dem augenblicklichen Systemverhalten eine wesentliche Interpretationsbasis für die Strategien darstellen.

Es lassen sich signifikante Unterschiede für die Drossel 1 (ANOVA, $F(2/45) = 3.75$, $p < .03$), die Drossel 2 (ANOVA, $F(2/45) = 3.55$, $p < .04$), die losen Schläuche (ANOVA, $F(2/45) = 4.82$, $p < .01$; Levene, $p < .01$; Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 6.0$, $df = 2$, $p < .01$) und die Anzahl an Druckluftbetätigungen (ANOVA, $F(2/45) = 6.00$, $p < .01$) und tendenzielle Unterschiede für den Rollentaster 3 (ANOVA, $F(2/45) = 2.44$; $p < .10$), den Zylinder 2 (ANOVA, $F(2/45) = 2.70$, $p < .08$; Levene $p < .01$; Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 3.0$, $df = 2$, $p > .22$) und das 5/2-Wege-Ventil 1 (ANOVA, $F(2/45) = 2.50$, $p < .10$) feststellen.

Auf der Ebene Anzahl Systemeingriffe insgesamt, ohne Druckluft einschalten, unterscheiden sich die Strategien ebenfalls (ANOVA, $F(2/45) = 4.39$, $p < .02$). Die Schüler mit der Trial & Error-Strategie nahmen insgesamt mehr Systemeingriffe vor (Scheffé, $p < .02$) als die mit der schrittweisen Strategie (siehe Tabelle 69). Im Verhältnis zwischen Systemeingriffen ohne Druckluft einschalten zu Lösungszeit ergibt sich, dass sich die Strategien nicht unterscheiden (ANOVA, $F(2/45) = 74$, $p < .49$), d. h., alle Schüler nahmen im Durchschnitt drei Systemveränderungen pro Minute vor.

Die Schwierigkeit in der Verwendung der Kategorie „Druckluft einschalten“ liegt darin, dass einige Schüler sehr häufig hintereinander das System simulierten und unklar ist, ob sie dies taten, um das System bewusst zu analysieren oder ob sie „einfach so“ den Finger auf den Startknopf hielten. Bezieht man die Simulationen in die Analyse mit ein, so wurden im Durchschnitt vier Systemeingriffe pro Minute vorgenommen. Aber auch in diesem Bereich unterscheiden sich die Gruppen nicht bedeutsam (ANOVA, $F(2/45) = .85$, $p < .43$) (siehe Tabelle 69), was bedeutet, dass sich die Strategien relativ zur Bearbeitungszeit in der Interaktion mit dem System nicht unterscheiden. Die Strategien beinhalten somit nicht unterschiedlich lange Analysephasen, sondern müssen sich in der Qualität der angewendeten Überlegungen unterscheiden. Hinweise dafür lassen sich in den Unterschieden hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten, mentaler Modelle und pneumatischem Wissen finden (siehe Tabelle 73 und Tabelle 74).

Tabelle 69: Systemveränderungen innerhalb der Strategien

Strategie	Systemeingriffe ohne Druckluft einschalten insgesamt		Systemeingriffe pro Minute ohne Druckluft einschalten		Systemeingriffe pro Minute mit Druckluft einschalten		n
	M	SD	M	SD	M	SD	
Trial & Error	147.88	48.89	2.65	.66	4.19	1.09	17
Symptomatische	105.46	72.14	2.90	1.65	4.48	2.88	13
Schrittweise	91.37	50.65	2.32	1.25	3.62	1.80	17

Die Gruppen unterscheiden sich nicht in der Anwendung (siehe Tabelle 70) von Strategien zum Lösen der praktischen Fehlersuche (Chi-Quadrat, $p < .86$). Die Lernumgebung spielt damit also keine relevante Rolle für die Entwicklung von unterschiedlichen Problemlösestrategien. Hypothese 6 über unterschiedliche Strategien in Abhängigkeit von Lernsystemen kann nicht gestützt werden.

Tabelle 70: Verteilung der Strategien über die Gruppen

Gruppe	Strategie			n
	Trial & Error	Symptomatische	Schritt-für-Schritt	
Reale Gruppe	4	4	6	14
FluidSim	7	5	4	16
CLEAR	6	4	6	16
n	17	13	16	46

Die Wirksamkeit (Effektivität) der Strategien wird anhand der gefundenen Fehler ermittelt. Wie sich Tabelle 71 entnehmen lässt, unterscheiden sich die Strategien signifikant (ANOVA, $F(2/45) = 8.96$, $p < .01$; Levene, $p < .04$). Der Kruskal-Wallis Test führt zu einem vergleichbaren signifikanten Gruppenunterschied ($\chi^2 = 12.97$, $df = 2$, $p < .01$).

Tabelle 71: Anzahl gefundener praktischer Fehler je nach angewendeter Strategie

Strategie	Fehleranzahl		Gemittelte Rangreihe	n
	M	SD	M	
Trial & Error	2.82	1.47	15.50	17
Symptomatische	4.00	1.29	24.92	13
Schritt für Schritt	4.62	.89	30.84	16

Die Schüler mit der Trial & Error-Strategie fanden signifikant weniger Fehler als diejenigen mit einer symptomatischen Strategie (Scheffé, $p < .05$) und diejenigen mit einer

schrittweisen Strategie (Scheffé, $p < .01$). Zwischen symptomatischer Strategie und systematischer Strategie lassen sich keine Unterschiede ausmachen (Scheffé, $p < .41$).

Hinsichtlich der Lösungseffizienz der Strategien zeigen sich ebenfalls signifikante Unterschiede (ANOVA, $F(2/23) = 4.19$, $p < .03$, Levene, $p < .04$). Eine vollständige Lösung wurde schneller mit der symptomatischen Strategie (Scheffé, $p < .05$) als mit der Trial & Error-Strategie und der schrittweisen Strategie (Scheffé, $p < .05$) gefunden (siehe Tabelle 72). Der Gruppenunterschied bleibt auch bei der nonparametrischen Testung (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 6.70$, $p < .04$) bestehen.

Die Schüler mit einer Trial & Error-Strategie realisierten insgesamt weniger vollständig funktionierende Schaltungen als die Schüler mit einer schrittweisen Strategie (Chi-Quadrat, $p < .01$).

Tabelle 72: Anzahl gelöster praktischer Aufgaben und Lösungszeit

Strategie	Lösungszeit (Min.)		Gemittelte Rangreihe der Lösungszeit	Anzahl richtiger Lösungen	Anzahl unvollständiger Lösungen	N
	M	SD				
Trial & Error	42.00	17.20	19.38	4	13	17
Symptomatische	20.00	5.86	6.79	7	6	13
Schrittweise	36.23	15.82	14.38	13	4	17

Die schrittweise Strategie führt zu den meisten richtigen Lösungen, braucht aber mehr Zeit und Handlungsschritte als die symptomatische Strategie.

Es wurde angenommen, dass die Schüler, die die schrittweise Strategie wählten, ihr mentales Modell mit der vorliegenden Schaltung vergleichen, ohne auf den Systemzustand zu achten (siehe Kapitel 0).

Es zeigt sich nun, dass die Schüler mit einer schrittweisen Strategie signifikant (Chi-Quadrat, $p < .01$) mehr vollständig richtige Zeichnungen anfertigten als die anderen (siehe Tabelle 73).

Die Strategie könnte also darin begründet sein, dass sie sich sicher sind, wie die Schaltung aufgebaut ist, und sie deshalb schrittweise vorgehen können, um keinen Fehler auszulassen.

Tabelle 73: Strategien und Güte des mentalen Modells

Strategie	Güte des mentalen Modells		n
	korrekt	nicht korrekt	
Trial & Error	2	15	12
Symptomatische	6	7	13
Schrittweise	12	4	16
n	20	26	46

Als Letztes sollen nun die Strategien in Bezug zum pneumatischen Fachwissen und den kognitiven Fähigkeiten betrachtet werden. Hierbei ergeben sich signifikante Unterschiede sowohl für physikalisch-technisches Problemverständnis (ANOVA, $F(2/45) = 8.63$, $p < .01$) zwischen Trial & Error-Strategie, symptomatischer Strategie (Scheffé, $p < .05$) und schrittweiser Strategie (Scheffé, $p < .01$) als auch für räumliches Vorstellungsvermögen (ANOVA, $F(2/45) = 4.16$, $p < .02$) zwischen Trial & Error-Strategie und schrittweiser Strategie (Scheffé, $p < .03$). In pneumatischem Wissen unterscheiden sich die Gruppen ebenfalls (ANOVA, $F(2/45) = 3.38$, $p < .04$), wobei Trial & Error im Vergleich zur schrittweisen Strategie (Scheffé, $p < .15$) und zur symptomatischen Strategie (Scheffé, $p < .07$) nicht signifikante, sondern nur tendenzielle Unterschiede aufweist.

Tabelle 74: Unterschiede in kognitiven Fähigkeiten und pneumatischem Fachwissen je nach Strategie

Strategie	MTP		RV		LD		PW		N
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	
Trial & Error	9.71	3.79	6.35	5.48	56.06	8.83	61.53	14.87	17
Symptombasierte	13.62	4.11	10.23	5.07	60.46	7.20	73.23	12.67	13
Schrittweise	15.81	4.86	11.38	5.08	61.50	9.07	70.75	11.90	16

Legende: MTP = physikalisch-technisches Problemverständnis, RV = räumliches Vorstellungsvermögen, LD = logisches Denken, PW = Pneumatikwissen

7.5.2 Symbolbasierte Fehlersuche

In der symbolbasierten Fehlersuche lassen sich fast ausschliesslich schrittweise Strategien identifizieren. Eine Differenzierung zwischen der Art des mentalen Modells (siehe Kapitel 1.5) und einer Problemlösestrategie ist bei einer Papier und Bleistift Aufgabe schwierig, da die symbolbasierte Fehlersuchaufgabe ausschliesslich mental gelöst wurde. Eine zentrale Bestimmungsgrösse für die Strategien liegt in der Reihenfolge des Vorgehens in Abhängigkeit vom Systemverhalten (Ist-Zustand), d. h., wann wird welches Vorgehen gewählt und warum. Genau dieses Systemverhalten lässt sich von aussen nicht beobachten, sondern erfolgt durch mentale Simulation auf der Basis eines mentalen Modells. In der

symptomatischen Strategie orientierte sich ein Schüler am gedrückten Rollentaster 2.1 und versuchte von dort die symbolbasierte Fehlersuchaufgabe zu lösen.

Ein weiterer Schüler liess sich keiner Strategie zuordnen. Jeweils ein Schüler aus jeder Gruppe ging nach einer Trial & Error-Strategie vor, d. h., er änderte einfach etwas in der Schaltung, ohne genau zu wissen warum bzw. ohne Erklärungen dafür abgeben zu können.

Tabelle 75: Verwendete Strategien in der symbolbasierten Fehlersuche

Gruppe	Strategie				n
	keine	Trial & Error	Symptomatische	Schrittweise	
Reale Gruppe	0	1	0	10	11
FluidSim	0	1	0	9	10
CLEAR	1	1	1	8	11
n	1	3	1	26	32

7.5.3 Zusammenfassung

Auf der mentalen Ebene (Interviewdaten) und Verhaltensebene (Videodaten) lassen sich insbesondere für die praktische Fehlersuche drei verschiedene Strategien klar unterscheiden: Trial & Error-, symptomatische und schrittweise Strategie. Diese Strategien wurden unabhängig von der jeweiligen Lernumgebung gewählt. In der relativen Anzahl an Systemeingriffen pro Minute unterscheiden sich die Strategien nicht. Im Durchschnitt wurden pro Minute drei Eingriffe ohne Simulation und vier Eingriffe mit Simulation ausgeführt.

Die Schüler mit einer Trial & Error-Strategie verfügten über signifikant geringere kognitive Fähigkeiten und tendenziell etwas weniger Fachwissen als die Schüler, die die schrittweise oder die symptomatische Strategie anwendeten. Die Schüler mit der schrittweisen Strategie fanden durchschnittlich die meisten Fehler und realisierten die meisten vollständigen Schaltungen, gefolgt von Schülern mit der symptomatischen Strategie. Die Schüler mit der schrittweisen Strategie brauchten dafür aber mehr Zeit als die Schüler mit der symptomatischen Strategie. Ebenso verfügten die Schüler mit der schrittweisen Strategie über die meisten korrekten mentalen Modelle.

In der symbolbasierten Fehlersuche liess sich fast ausschliesslich die schrittweise Strategie identifizieren.

8 Diskussion

Die Diskussion gliedert sich wie folgt:

Im ersten Teil werden methodische Aspekte wie Untersuchungsdesign, Stichprobenselektion, Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten, Ausfallquoten „drop outs“ und Stichprobenumfang diskutiert. Darauf folgt im zweiten Teil die Reflektion über den quantitativen Zusammenhang zwischen Lernumgebung, Fachwissen, praktischer Fehlersuche, symbolbasierter Fehlersuche und Konstruktionsaufgabe auf Basis der Hauptuntersuchung. Im dritten Teil werden mentale Modelle und Problemlösestrategien diskutiert. Zum Abschluss erfolgt eine integrierende Diskussion der Ergebnisse mit möglichen Konsequenzen für die weitere Forschung und Praxis.

8.1 Design

Folgende fünf Punkte werden näher diskutiert: experimentelles Setting, Konfundierungen zwischen Gegenständlichkeit und Codierformat, verwendete Schultypen, Variablenselektion und Unterrichtsdauer.

Für die Untersuchung von Auswirkungen unterschiedlicher Ausprägungen der Gegenständlichkeit und Multicodierung ist es notwendig, Gruppen zu bilden, die mit unterschiedlichen Lernsystemen arbeiten und sich hinsichtlich der zu untersuchenden Merkmale unterscheiden (Bortz & Döring, 1995). In der vorliegenden Studie wurde deshalb ein quasi-experimentelles Design gewählt (Huber, 1995). Die Verwendung eines experimentellen Designs erschien dem Autor wenig angemessen, weil dessen externe Validität geringer ist. Das Experiment wird von einigen Forschern aus den Bereichen der Pädagogischen Psychologie bzw. Lernpsychologie stark kritisiert, wobei diese Forscher eine wesentlich differenziertere und realitätsnähere Untersuchung von Lernprozessen und Lernoutput fordern (Schunk, 1991, 2000; Bereiter, 2002). Lernen ist ein komplexes Themenfeld, bei dem es in Anlehnung an Seels Aufstellung (2000) notwendig erscheint, die Wechselwirkung von verschiedenen Variablen in realen Kontexten zu untersuchen und diese mit den aus experimentellen Studien gewonnenen Ergebnissen, wie z. B. dem Problemlösen bei French und Funcke (1995) oder Dörner und Pfeifer (1993) oder Lernen mit Multimodalitäten (Dubios & Vail, 2000) oder der Auswirkung verschiedener

Codalitäten (Bruenken, Steinbacher, Schnotz & Leutner, 2001; Gellevij, Van Der Meij, Jong & Pieters, 2002) zu vergleichen, um aus der Übereinstimmung bzw. Divergenz neue Erkenntnisse über Lernen zu erlangen.

Um sehr spezifische Auswirkungen über die Auswirkungen von Gegenständlichkeit und Multicodierung treffen zu können, ist die Konfundierung zwischen Gegenständlichkeit und real-bildlichem Codierformat in dieser Untersuchung als etwas problematisch anzusehen. Die Erweiterung der Untersuchung um eine Gruppe, die ausschliesslich mit einer fotorealistischen Simulation gearbeitet hätte, würde eine bessere Differenzierung der beiden zentralen Konstrukte (Gegenständlichkeit und Codierformat) bedeuten. Im Fall von Unterschieden liesse sich so der Effekt eindeutiger auf die Gegenständlichkeit zurückführen. Auf der anderen Seite muss in Betracht gezogen werden, dass die Frage der Gegenständlichkeit in der Berufsausbildung untersucht wurde, um deren praktische Relevanz zu evaluieren. In den Berufsausbildungsstätten stehen bisher nur symbolbasierte Simulationen zur Verfügung. Somit ist die praktische Relevanz der gefundenen Ergebnisse höher, als wenn man einen prototypischen fotorealistischen Simulator verwendet hätte.

Im Zusammenhang mit dem Design lässt sich das Zusammenführen von Daten aus verschiedenen Schultypen mit teilweise unterschiedlichem Wissenshintergrund (Berufsschule und College) kritisch hinterfragen. Als Vorwissen wurden in der Untersuchung fachspezifische Kenntnisse erfasst. Doch könnte theoretisch auch anderes schulspezifisches Wissen in Elektronik, Physik etc. oder Erfahrung in technischen Bereichen eine wesentliche Rolle für den Lernprozess und -erfolg spielen. Um dieses Wissen anzuwenden, müsste allerdings eine Transferleistung erbracht werden. Die Transferüberlegungen von Anderson (1993, 1996), basierend auf dem ACT*-Modell, gehen von einer Verwendungsspezifität von Wissen aus. Transfer ist demnach nur dann möglich, wenn auf gleiche abstrakte Wissens Elemente zurückgegriffen werden kann. Gruber, Mandl und Renkl (2000) kommen zum Schluss, dass Transfer vor allem dann möglich ist, wenn der Schüler auf Vorwissen zurückgreifen kann, welches er in anwendungsorientierten und fallbasierten Settings über einen längeren Zeitraum lernte. Diese Art von Unterricht ist in keiner in diese Untersuchung einbezogenen Schulen üblich. Bei allen ist klassischer Frontalunterricht vorherrschend. Somit ist anzunehmen, dass Transfereffekte relativ gering sein sollten.

Zusätzlich zu den methodischen Reflexionen gilt es noch die Angemessenheit der erhobenen Variablen und die Dauer des Unterrichts zu betrachten. Sicherlich kann die Arbeit nicht den Anspruch erheben, alle oder auch nur annähernd alle Variablen des

Lerngeschehens zu erfassen. Die Selektion erfolgte auf der Basis von individuellen kognitivistischen Lernüberlegungen; so wurden keine Aspekte für situiertes, beobachtendes oder kooperatives Lernen in Gruppen und deren Einfluss auf individuelle Lernleistung gemessen. Analysen der Videoaufzeichnungen des Unterrichts hinsichtlich Kooperation und Kommunikation in den Zweiergruppen wären von wissenschaftlichem Wert, um Lernprozess und -erfolg noch umfänglicher zu verstehen.

Bezüglich der Unterrichtsdauer lässt sich Folgendes anmerken: Auf der einen Seite muss man bedenken, dass sich der Wissenszuwachs und die damit zu erwartenden Unterschiede mit der zunehmenden Länge der Unterrichtssequenzen vergrößern würde. Auf der anderen Seite nimmt wahrscheinlich die Vermischung von unterschiedlichen Einflussfaktoren bei der Unterrichtsverlängerung zu: Beispielsweise könnte es Schüler geben, die im Betrieb mit pneumatischen Anlagen arbeiten können, oder es könnte Schüler geben, die in ihrer Freizeit FluidSim nutzen, um eigene Schaltungen zu entwerfen. So können Lerneffekte immer weniger eindeutig auf bestimmte Merkmale des Unterrichts (Variablen) zurückgeführt werden. Experimentell kann man Handlungseffekte sehr früh zeigen; demgegenüber handelt es sich im Arbeitskontext (z. B. bei der Steuerung (Überwachen) von CNC-Maschinen oder bei der Nutzung von CAD-Systemen) oft um Jahre, bis von gegenständlich erworbenem Erfahrungswissen gesprochen wird. Für individuelle Lerneffekte sollte eine Lerndauer gewählt werden, die eine hinreichende Komplexität an gegenständlichem Problemlösen zulässt. Die geringen Effekte in dieser Studie, die sich mit Basisschaltungen in Pneumatik beschäftigte, lassen vermuten, dass eine höhere inhaltliche Komplexität, wie z. B. die Fehlersuche in einer Verteilstation mit SPS-Steuerung, für die weitere Forschung viel versprechend wäre.

8.2 Sprache

Da CLEAR in Holland, England, Deutschland und Portugal eingesetzt wurde, stellt die Verwendung unterschiedlicher Sprachen ein potenzielles Problem für die vorliegende Untersuchung dar. Die eingesetzten psychologischen Tests wurden darum von Übersetzern in die jeweilige Landessprache übersetzt. Da es sich um logisches Denken, räumliches Vorstellungsvermögen und physikalisch-technisches Problemverständnis als kognitive Fähigkeiten handelt, die weitgehend aus Symbolen und Zeichen bestehen, sind keine sprachlich bedingten Unterschiede zu erwarten. Die Interviews erfolgten in Englisch oder Deutsch. Durch den Einsatz von Dolmetschern ergaben sich in Portugal bzw. Holland Verluste in der Genauigkeit der Beschreibung der mentalen Prozesse. Über Art und

Umfang bezüglich der Verluste lassen sich nur Spekulationen anstellen. Da sich die diversen Interviews aus den beteiligten Ländern inhaltlich nicht systematisch unterscheiden, ist der Verlust vermutlich relativ gering. Allerdings wäre die Durchführung einer derartigen Studie in einem einzigen Sprachraum sicherlich unproblematischer.

Im Zusammenhang mit Sprachunterschieden wird häufig auch auf kulturelle Unterschiede aufmerksam gemacht. Zwei Aspekte werden beleuchtet: erstens die kulturellen Unterschiede in der Unterrichtsgestaltung und zweitens länderspezifische Problemlösestrategien. Es ist davon auszugehen, dass keine kulturellen Unterschiede im Unterrichtsmaterial und der Durchführung gegeben waren, weil alle beteiligten Partner das Material gemeinsam entwickelten und in ihrer jeweiligen Landessprache verwendeten. Die während der Entwicklung diskutierten unterschiedlichen Unterrichtsauffassungen haben sicherlich auch kulturelle Anteile. Sie mündeten in einem multikulturell durchdrungenen Unterrichtskonzept. Kulturelle Unterschiede im Bereich der Problemlösestile sind allgemein schwierig zu fassen. Strohschneider konnte in seinen Studien (1994, 1997) zeigen, dass sich für Ostdeutsche ein deduktiv-analytischer und für Westdeutsche ein induktiv-essayistischer Problemlösestil im komplexen Problemlösen identifizieren lässt. Da Strohmeister für die Analyse ein Simulationsspiel verwendete, ist die Generalisierbarkeit von solchen Ergebnissen in reales Problemlösen als kritisch zu bewerten und wird im Weiteren nicht näher ausgeführt.

8.3 Stichprobe

Der Stichprobenumfang von 96 Schülern wurde auf der Annahme der Entwicklung eines signifikant ($\alpha = .05$) grossen Lerneffekts von $d = .80$ (Cohen, 1988) kalkuliert. Insgesamt ist aber nur 59% der Schülerpopulation in die Auswertung der Hauptstudie eingegangen. Ursachen dafür sind sowohl bei den Lehrern als auch bei den Schülern zu finden. In Holland wurde ein neuer Lehrer eingesetzt, welchem die Projektziele nicht bekannt waren. Dadurch misslang die Standardisierung. In den meisten Ländern nahmen jeweils 24 Schüler an den Vortests teil. Doch einige von ihnen sprangen beim Unterrichtsstart ab. Das Konzept der Freiwilligkeit ist in diesem Zusammenhang zu hinterfragen, insbesondere weil sie das Gelernte im Betrieb nicht umsetzen konnten und für die Untersuchung zusätzliche zeitliche Belastungen auf sich nehmen mussten. In zukünftigen Studien könnte z. B. ein fester Unterrichtsbestandteil aus der Ausbildung zu demjenigen Zeitpunkt untersucht werden, zu dem er auch im betrieblichen Kontext Anwendung findet.

Aufgrund der gewonnenen Ergebnisse scheint eine Kontrollgruppe für weitere Studien nicht notwendig zu sein, da der Wissenszuwachs relativ gering war.

Die 54 untersuchten Schüler entsprechen in ihren kognitiven Fähigkeitstestwerten dem Mittel der verschiedenen Testreferenzgruppen (technische Berufe), womit sich die Ergebnisse gut auf diese Berufsgruppe verallgemeinern lassen. Der ausgewertete Stichprobenumfang befindet sich am unteren Ende für statistische Analysen, so dass nur ein wirklich grosser Effekt statistisch signifikant werden kann. Die gewonnenen Befunde lassen sich aber als Tendenzen interpretieren, die in einer zukünftigen Studie an einer grösseren Stichprobe untersucht werden sollten.

8.4 Fachwissensentwicklung

Im ersten Schritt wird die pneumatische Fachwissensentwicklung betrachtet. Die „Cognitive Load Theory“ (van Merriënboer et al., 2002) geht davon aus, dass die Kombination unterschiedlicher Codierungen zu einer Entlastung des Arbeitsgedächtnisses führt und dadurch die Lernleistung verbessert wird. Das gefundene Ergebnis (keine Wissensunterschiede) steht im Widerspruch zur Annahme der Effekte dieser Multicodierung (Engelkamp, 1991, 1997; Baddely, 1998; Cooper, 1997; Mayer & Moreno, 2002) und der erwarteten Effekte der Gegenständlichkeit (Böhle, 1998; Piaget, 1991) auf die Wissensentwicklung. Wie lässt sich das erklären, wenn man berücksichtigt, dass die Bedeutung des aktiven Be-Greifens (Gibson, 1963) für Lernprozesse schon relativ früh empirisch belegt wurde? Richardson, Ainsley, Copsey und Watkins (1980, zit. nach Engelkamp, 1991) konnten bereits für das Berühren und Betasten von Objekten eine bessere Erinnerungsleistung im Gegensatz zur blossen Wahrnehmung der Objekte nachweisen. Dieses Ergebnis konnte von Engelkamp und Zimmer (1983) repliziert werden. Im Zusammenhang mit Handlungsausführungen veranschaulichen andere Studien (Engelkamp & Zimmer, 1995; 1996) ebenfalls einen Handlungsvorteil, wobei Handlungen automatisch und multicodal gespeichert werden. Die Theorieentwicklung basiert allerdings in den meisten Fällen auf dem Vergleich zwischen ausschliesslich verbalem Lernen und Objektberührung oder Handlungsausführung und Einzelelementen bzw. kurzen Handlungssequenzen. Isolierte Wissens Elemente (Begriffe/Objekte) werden aber in keine komplexen Wissensschemata eingebunden. Dadurch kann keine Verknüpfung mit bereits bekanntem Wissen stattfinden, und so entsteht ein Wissensvorteil für Multicodierung und gegenständliche Handlungen, da diese informationsreicher sind.

Wird aber ein Themengebiet im Unterricht umfänglich behandelt und kontextualisiert, so müssten der Handlungsvorteil der Gegenständlichkeit und die Multicodierung an Bedeutung für die Wissensspeicherung bzw. den Wissensabruf verlieren. Diese Annahme lässt sich zumindest durch zwei Tatsachen erhärten: Erstens lassen sich Wissensunterschiede vor allem in kurzen experimentellen Settings (Engelkamp, 1991; Steffens, 1998) bzw. kurzen Feldstudien (wie bei Najjar (1996) aufgeführt) finden, und zweitens zeigen sich bei Medienvergleichsstudien mit längeren Lernsequenzen bisher geringe bis keine Effekte beim Vergleich zwischen CBT und „klassischem“ Unterricht (Kulik & Kulik, 1991; Wegner, Holloway & Garton, 1999), real-gegenständlichem und simulationsbasiertem Unterricht (Grund & Grote, 1999), Unterricht mit und ohne Laboranteil (Mikelskis, 2000) und klassischer Vorlesung mit Übung im Vergleich zu WBT (Kersten, Groner, Groner & Stadler, 2001).

Nimmt man das intensive Bearbeiten eines Themas als Ursache für die Entwicklung vergleichbarer Wissensbestände an, so sollte es bei handlungsorientiertem Unterricht, welcher als Grundgedanke das Bearbeiten von praxisnahen Beispielen vorsieht, eine hohe Eigenständigkeit (selbstorganisiertes Lernen in Zweiergruppen) verlangt und mentale Eigenaktivität der Schüler fordert, zu keinen deutlichen Effekten der Gegenständlichkeit und Multicodierung kommen. Diese in der Theorie des situierten Lernens als aktivitätsinduzierende Merkmale der Situation konzipierten Aspekte könnten eine mögliche Erklärung für den geringen Einfluss des Lernmediums darstellen (Greeno, 1998; Lai-Chong, 2000; Gerstenmaier & Mandl, 2001).

Ein weiteres Ergebnis in Bezug auf Wissensentwicklung ist die Tatsache, dass das Vorwissen und das physikalisch-technische Problemverständnis, als intervenierende und weitgehend kontrollierte (parallelisierte) Variablen, die höchste Vorhersagekraft (Varianzaufklärung) für die Fachwissensentwicklung aufweisen. In der bisherigen Forschung gibt es eine Vielzahl an Befunden, die die Bedeutsamkeit von kognitiven Fähigkeiten in gleicher Art und Weise bestätigen (Egan & Gomez, 1985; Greene, Gomez & Devlin, 1986; Weinert, 1996; Grund & Grote, 1999). Personenbezogene Faktoren werden bisher in WBT-Studien selten berücksichtigt (Hill & Chidambaram, 2000). Demgegenüber wird Vorwissen im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung als positiver Faktor in vielen Studien gefunden (Fraser, Walberg, Welch & Hattie, 1987; Simons, Weinert & Ahrens, 1975; Helmke, 1992; Waldmann, 1997; Stark, Mandl, Gruber & Renkl, 2002). Pneumatisches Vorwissen wirkte sich in der vorliegenden Untersuchung negativ auf den relativen Wissenszuwachs (Differenz aus Vorwissen und Wissen am Kursende) aus.

Allgemein wird Vorwissen als Anker für neue Wissens Elemente verstanden, wodurch Schüler mit Vorwissen mehr neues Wissen speichern können als Schüler ohne Vorwissen. Da die Grundlage für die vorliegende Untersuchung ein Basiskurs in Pneumatik war, für den kein Vorwissen benötigt wurde, lernten wahrscheinlich die Schüler mit Vorwissen relativ gesehen weniger dazu als die Schüler ohne Vorwissen.

8.5 Praktische Fehlersuche

Für die praktische Fehlersuche wurde angenommen, dass die Schüler mit gegenständlicher Erfahrung besser abschneiden als ohne. Die Hypothese zu real-gegenständlichem Training lässt sich bezüglich der Lösungsgüte nicht stützen, eine entsprechende Tendenz zeigt sich allerdings in der Lösungseffizienz. Das ist ein relativ erstaunliches empirisches Resultat, wenn man bedenkt, dass die Simulationsgruppe nur eine kurze Einführung in die Handhabung von realen Komponenten erhalten hatte. Wie lässt sich ein solches Ergebnis interpretieren? Die Encodierungsspezifität von Wissen (Tulving, 1983) - in diesem Fall von praktischem Handlungswissen mit realen Komponenten - ist nicht leistungsbestimmend. Der Codiertransfer von symbolisch auf real-gegenständlich lässt sich als lateraler Transfer (Ausubel & Robinson, 1969) verstehen. Der notwendige Aufgabentransfer beruht auf der Basis von gleichen abstrakten Wissens Elementen (Anderson, 1996). Diese abstrakten Wissens Elemente wurden anscheinend nicht mit dem pneumatischen Fachwissenstest gemessen, da sich zu der praktischen Problemlöseaufgabe keine bedeutsame Korrelation ergab. Im Sinne von Berry und Broadbent (1988) könnten hier im U-Modus implizit gelernte abstrakte Wissens Elemente, die medienunabhängig sein müssen, für die vergleichbare Leistung der drei Gruppen verantwortlich sein. Die Annahme wird von Guttormsen Schär (1998) in ihren experimentellen Studien über implizite Lernprozesse in computerbasierten Aufgaben bestätigt. In diesem Zusammenhang ist interessant, dass nur die CLEAR-Gruppe und die FluidSim-Gruppe im Arbeitsprotokoll signifikant weniger Fehler dokumentierten als sie tatsächlich gefunden hatten. Dies lässt sich als Hinweis darauf interpretieren, dass bei geringerer Aufgabenformatsvertrautheit die praktische Fehlersuche stärker auf der Basis von implizitem Systemverständnis erfolgt.

Neben der Encodierungsspezifität kommt noch ein weiterer Aspekt im Bereich der Gegenständlichkeit hinzu, nämlich die Bedeutung der sinnlichen Wahrnehmungsaspekte (Materialbeschaffenheit, Geräusche der ausfahrenden Zylinder, Abluftgeräusche bei offenen Schläuchen etc.) beim Arbeiten mit realen Komponenten, die Böhle (1998) betont. Diese wirken sich ebenfalls nicht leistungsförderlich für die Schüler dieser Studie aus. In

seinen Untersuchungen beschäftigte sich Böhle insbesondere mit Produktionsaufgaben (CNC-Dreher, Fräser etc.), bei denen verschiedenste Informationen über Materialbeschaffenheit, Zustand des Fräskopfes etc. über den auditiven und haptischen Sinneskanal aufgenommen werden und somit der möglichst direkte Bezug zum Gegenstand von Bedeutung ist. Im Pneumatikkurs sind die Aufgabenanforderungen anders gelagert. Es geht darum, Schaltungswissen bzw. -logik auf gegebene Schaltungen zu übertragen, um Fehler zu finden. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass Böhles Überlegungen des subjektivierenden Arbeitshandelns in Bezug zur Bedeutung der Gegenständlichkeit nicht von der spezifischen Arbeitsaufgabe losgelöst betrachtet werden dürfen bzw. nicht ohne weiteres auf Lernsituationen generalisiert werden können. Im Gegensatz zu Böhle fokussieren Oesterreich und Köddig (1995) nicht auf die sinnlichen Qualitäten, sondern differenzieren zwischen vollständiger und eingeschränkter Generierung von Handlungen, wobei die vollständige zu einer tieferen Verarbeitung führt. Auf die Lernumgebungen übertragen sind vollständige Handlungen beispielsweise die Auswahl von Komponenten, der Schaltungszusammenbau, die Schaltungssimulation und Fehlerbehebung, die mit unterschiedlichen Systemen (Maus, reale Komponente) ausgeführt werden. Eingeschränkte Handlungen bedeuten, dass nur Teilschritte ausgeführt werden, wie z. B. der Einbau einer Komponente, ohne den Schaltungsaufbau vollständig selber zu planen. Demzufolge wird der Lernprozess weniger durch die sinnlichen Informationen des Gegenstandes als durch psychomotorische Informationen und Lernsettingsmerkmale (z. B. Handlungsorientierung, welche das Planen, Ausführen und die Kontrolle der komplexen Lerntätigkeit beinhaltet) bestimmt. Einen Hinweis für die Bedeutung der psychomotorischen Informationen liefert das Ergebnis, dass die FluidSim-Gruppe insbesondere Schwierigkeiten mit der Anordnung der Schläuche in der praktischen Fehlersuche schilderte, welche in der Software symmetrisch nebeneinander und nicht übereinander liegend angeordnet sind. Anders ausgedrückt, diesen Schülern hat die psychomotorische Erfahrung (Information) des Schlauchverlegens bei der Entwicklung eines mentalen Modells Schwierigkeiten bereitet. Die psychomotorischen Informationen, die durch die Maus beim Aufbau von virtuellen Schaltplänen vermittelt werden, lassen sich aufgrund von Anordnungs- und Aufbauunterschieden (siehe Kapitel 4.1.2) zur realen Schaltung nicht direkt auf diese übertragen. Es liegen gewisse strukturelle Unterschiede vor.

Der Gedankengang der vollständigen Aufgabe bildet sowohl eine Brücke zur Arbeitspsychologie und zum Lernen als auch eine empirische Stütze der vorangegangenen

Ideen, wo eine Vielzahl an Untersuchungen über Kompetenzentwicklung in der Arbeit (Baitsch, 1985; Bergmann, Fritsch, Göpfert, Richter, Wardanjan & Wilczeck, 2000; Hacker, 1998a) die Bedeutung der vollständigen Arbeitsaufgabe als wichtigen lernförderlichen Faktor im betrieblichen Kontext zeigen.

8.6 Symbolbasierte Fehlersuche

In der symbolbasierten Fehlersuche liess sich ein tendenzieller aber nicht signifikanter Leistungsgewinn für die FluidSim-Gruppe identifizieren, obwohl sie am längsten mit Symbolen gearbeitet hatte.

Die Überlegungen der vollständigen Handlungsausführung sind hier weniger als Erklärung geeignet, da die symbolbasierte Fehlersuche andere mentale Anforderungen an den Schüler stellt als die praktische Fehlersuche. Der Schüler muss im Gegensatz zur Bearbeitung der realen Schaltung ein mentales wissensbasiertes Modell einer funktionierenden Schaltung entwickeln, dieses mit dem vor ihm liegenden Schaltplan via mentaler Simulation vergleichen und Veränderungsmassnahmen ableiten. Die Fehler lassen sich nicht durch systematisches oder unsystematisches Testen herausfinden, sondern erfordern einen hohen Wissensanteil, der sich in einer signifikanten Korrelation zwischen Fachwissen und symbolbasierter Fehlersuche zeigt.

Die längere zeitliche Auseinandersetzung (Übungsumfang) mit Symbolen sollte den Lösungsprozess begünstigen, da Zeit als relevanter Lern- und Leistungsfaktor schon in Untersuchungen von Ebbinghausen (1885, zitiert nach Baddely, 1986) und in neueren Untersuchungen (Anderson, 1996) immer wieder bestätigt wird. Ebenso gibt es Zusammenhänge zwischen Merkmalen des Lern- und Prüfungsmaterials (Bruenken, Steinbacher, Schnotz & Leutner, 2001). Die vorliegende Studie konnte zeigen, dass Bilder dann besonders lernförderlich waren, wenn die Testaufgaben ebenfalls als Bildaufgaben vorgelegt wurden. All diese Überlegungen liefern keine befriedigende Erklärung für das gefundene Ergebnis. Betrachtet man die Simulationssoftware genau, so zeigen sich bestimmte Eigenschaften, die möglicherweise einen deutlicheren Lernleistungsvorteil behinderten. Die folgenden Punkte könnten eine Verringerung der Verarbeitungstiefe (Craik & Lockhardt, 1972) des Lernmaterials bedingt haben:

- Das Auswechseln von Komponenten ist sehr einfach und fördert Trial & Error Verhalten.
- Name und Erklärungen für Komponenten stehen dem Schüler direkt zur Verfügung.

- In der Simulation lässt sich erkennen, wo die Luft stehen bleibt und wo ein Element geschaltet wird oder nicht.

Um eine funktionierende Schaltung mit Symbolen aufzubauen, ist die mentale Elaboration des Materials weniger wichtig als beim Aufbau einer Schaltung mit realen Komponenten, weil der Schüler anhand der realen Komponenten nicht sieht, wo die Luft sich augenblicklich im System befindet. Er muss ein besseres Verständnis über den Systemzustand haben als bei der Verwendung einer Simulation, die den Luftweg deutlich anzeigt. Anderson (1996) beschreibt aber, dass die Menge des Materials, die erinnert wird, von der Darbietung (einfach/schwierig) während des Lernprozesses abhängig ist, was bedeuten würde, dass die FluidSim-Gruppe weniger Fachwissen aufweisen müsste, wenn eine geringere Elaboration notwendig ist. Dies ist aber nicht der Fall. Sie verfügt über vergleichbares Fachwissen und löste die symbolbasierte Fehlersuchaufgabe nicht deutlich besser als die reale Gruppe. Auch unterscheiden sich die Schüler in der Anzahl an mentalen Simulationen nicht von den anderen Gruppen. Eine Ursache dafür könnte in der Art der Auseinandersetzung mit dem Schaltplan liegen. Die FluidSim Schüler haben möglicherweise die Symbole schneller auf der Ebene Komponententypen identifiziert, aber nicht genau auf deren Schalterposition geachtet. Die Schalterposition konnten sie im Unterricht durch Simulation testen. So könnte der Erfahrungsvorteil mit Symbolen durch mangelnde Beobachtungsgenauigkeit verloren gegangen sein.

In der Korrelationsmatrix zeigt sich, dass alle gemessenen Variablen (räumliches Vorstellungsvermögen, physikalisch-technisches Problemverständnis, pneumatisches Fachwissen und logisches Denken) hoch positiv mit der symbolbasierten Fehlersuche korrelieren. Dies im Gegensatz zur realen Fehlersuche, in der nur logisches Denken und physikalisch-technisches Problemverständnis positiv korrelieren. Das bedeutet, dass für die Lösung einer symbolbasierten Fehlersuche verschiedene Kompetenzbereiche hilfreich sind, die sich aber in der Regression gegenseitig überlagern und somit nicht alle einen zusätzlichen eigenständigen Varianzanteil aufklären.

Beim Intragruppenvergleich der symbolbasierten und praktischen Fehlersuche zeigte sich nur eine Leistungsdifferenz in der realen Gruppe, die mehr Fehler in der praktischen Fehlersuche fand. Es ist anzunehmen, dass dort situationsspezifisch implizit gelernte Wissens Elemente wirksam wurden, die sich nicht auf die symbolbasierte Fehlersuche übertragen liessen.

8.7 Konstruktionsaufgabe

Die Konstruktionsaufgabe diente der Messung der praktischen Anwendung des erworbenen Fach- und Schaltungswissens. Es wurde angenommen, dass die FluidSim-Gruppe den anderen Gruppen überlegen sein sollte, da sie länger mit Symbolen arbeitete und insbesondere mehr Erfahrung mit der Erstellung von symbolbasierten Schaltplänen hatte (siehe Kapitel 4.1.2). Dies konnte empirisch nicht bestätigt werden. Der zu leistende laterale Transfer ist für die reale Gruppe deutlich grösser. Im Gegensatz zur symbolbasierten Fehlersuche ist in der Konstruktionsaufgabe eine direkte Übertragung des gelernten Wissens vom Unterricht der FluidSim-Gruppe möglich. Nur das Testen der Konstruktion muss mental und nicht systemunterstützt erfolgen.

Um zu verstehen, wieso sich keine Leistungsunterschiede zwischen den Gruppen ergaben, erscheint es hilfreich, die Merkmale erfolgreichen Konstruierens zu betrachten und von dort Rückschlüsse auf die Bearbeitung vorzunehmen. Der Konstruktionsprozess wird als die kreativste und anspruchvollste Denktätigkeit (Hacker, 1998a) umschrieben, in die unterschiedlichste Aspekte wie entwickeltes Fachwissen, Intelligenz etc. hineinspielen. In der Korrelationsmatrix ist dies ansatzweise dadurch bestätigt, dass die höchsten Korrelationen zwischen Aufgabe, kognitiven Fähigkeiten und Fachwissen auffindbar sind. Doch der grösste Varianzanteil wird durch physikalisch-technisches Problemverständnis erklärt (siehe dazu Kapitel 4.2.1).

In Anlehnung an Hacker (1998a) werden im Folgenden die in Bezug auf die gegebene Konstruktionsaufgabe als relevant erscheinende Aspekte vorgestellt:

- a) Art des Erfassens und Analysierens des Problems (Aufgabenstellung), das beinhaltet die eingehende Analyse, das Erkennen funktionsrelevanter Elemente und die vollständige Bestimmung der Hauptfunktionen.
- b) Art der Suche von Prinziplösungen, d. h. Erzeugen und Eingrenzen von Lösungsprinzipien und Bilden von Teilzielen.
- c) Rückkoppelndes Beurteilen der Lösungsschritte, d. h. systematisches Beurteilen von konkret ausgeführten Schritten.

Die Schüler verfügten für die Analyse des Problems über vergleichbares Fachwissen und kognitive Kompetenzen. Die Aufgabe wurde als praktisches Problem geschildert, womit beide Gruppen auf die im Unterricht gemachten Erfahrungen in gleicher Art und Weise zurückgreifen konnten. In der symbolbasierten Fehlersuche zeigte sich, dass die reale Gruppe wie die FluidSim-Gruppe eine überwiegend symbolische oder gemischte

Repräsentation nutzte, was den Schluss nahe legt, dass sie sich die Konstruktion genauso gut wie die FluidSim-Gruppe in Form von Symbolen vorstellen konnte. Es gab also keine Schwierigkeiten im lateralen Transfer. Der problemlose laterale Transfer von real-bildlichen auf symbolische oder gemischte Repräsentationen kann in der realen Gruppe dadurch begünstigt worden sein, dass es beim Bearbeiten von echten Schaltungen für diese Schüler manchmal einfacher bzw. hilfreich war, sich die Komponenten als Schaltsymbole vorzustellen, was hingegen für die FluidSim-Gruppe nicht notwendig war, da Symbole eine höhere Transparenz aufweisen.

In der mentalen Simulation der symbolbasierten Fehlersuche hatten alle Gruppen ähnliche Schwierigkeiten; für den Konstruktionsprozess könnte dies bedeuten, dass die Gruppen in der Beurteilung ihrer Lösungsschritte aufgrund von Simulationsschwierigkeiten ähnliche Probleme hatten. Insgesamt bleiben die Überlegungen bezüglich der Konstruktionsaufgabe relativ unbefriedigend. Ein Interview mit den Schülern, wie in den anderen Aufgaben, wäre womöglich eine gewinnbringende Methode gewesen, über den Konstruktionsprozess mehr zu erfahren.

Im folgenden Abschnitt werden die entwickelten mentalen Modelle und die Problemlösestrategien für die symbolbasierte Fehlersuche und die praktische Fehlersuche diskutiert.

8.8 Mentale Modelle

Die Ergebnisse hinsichtlich mentaler Modelle zeigen, dass Wissen nicht wie angenommen (Engelkamp, 1991; Anderson, 1996) immer multicodal codiert wird, sondern dass eine Lernumgebung mit ihrem spezifischen Format das mentale Format beeinflussen kann. So konnte für die FluidSim-Gruppe über beide Fehlersuchaufgaben hinweg eine Tendenz zu symbolischer Repräsentation identifiziert werden. Die Schüler der realen Gruppe und der CLEAR-Gruppe repräsentierten die praktische Fehlersuchaufgabe real-bildlich und die symbolbasierte Fehlersuchaufgabe in verschiedensten Formaten (real-bildlich, symbolisch, gemischt), d. h., Gegenständlichkeit alleine fördert die Multicodierung von Informationen. Das Ergebnis ist theoretisch nachvollziehbar, wenn man das Verstehen einer realen Komponente als Problem auffasst. Um dieses Problem zu lösen, d. h. um die Funktionsweise zu begreifen, bietet sich ein mentaler Codierwechsel (Dörner, 1995) an. In der FluidSim-Gruppe liegt keine derartige Verstehensproblematik für die Funktionsabläufe vor, da sich die Funktionen direkt aus den Symbolen ableiten lassen. Das durch das Lernmedium induzierte mentale Repräsentationsformat (real-bildlich/symbolisch) hat sich

nicht so deutlich positiv wie bei Rost und Straus (1993) auf die Problemlöseleistung ausgewirkt.

Hinsichtlich struktureller Merkmale (funktionale/operationale Erklärungen) liessen sich quantitative Unterschiede in der praktischen Fehlersuche finden. Die reale Gruppe weist signifikant weniger operationale Erklärungen als die CLEAR-Gruppe auf. Auch die FluidSim-Gruppe gab weniger Erklärungen ab. Begreift man die Anzahl an Erklärungen als ein Merkmal für die mentale Aktivität beim Lösen einer Aufgabe, so bedeutet das, dass – wenn ein Stoff multicodiert gelernt wird – sich diese Schüler mehr Gedanken während der Aufgabenbewältigung machten als Schüler, die nur mit einem Codierformat arbeiteten. Eine andere Interpretation, unter Einbezug des impliziten Lernens (Broadbent, FitzGerald & Broadbent, 1986), besteht darin, dass die reale Gruppe aufgrund der geringeren Aufgabensalienz, die sich aus den realen Komponenten ergibt, mehr implizit über das Lösen von praktischen Aufgaben lernte und dies während der Interviews über den Aufgabenlösungsprozess nicht verbalisieren konnte.

Weiter konnte festgestellt werden, dass innerhalb der FluidSim-Gruppe und der CLEAR-Gruppe mehr operationale als funktionale Erklärungen abgegeben, d. h. propositionale Strukturen gebildet wurden. Die mentale Repräsentationsstruktur ist von der Expertise abhängig. So konnten Seifert und Lohmann (1991) zeigen, dass insbesondere Anfänger propositionale Repräsentationen bilden, die ein Ergebnis *„einer der Verknüpfung von aufeinander folgenden Textsätzen auf der Ebene der semantischen Tiefenstruktur des Textes“* (S.75) sind, was in dieser Untersuchung bestätigt werden konnte.

Ein für das Lernen relevantes Ergebnis ist die Komplexität der Erklärungsstrukturen (funktional/operational), die sich zwischen den Gruppen nicht unterscheidet, was ein Hinweis dafür ist, dass die Anzahl verknüpfter Wissens Elemente beim Wissensabruf unabhängig von der Multicodierung von Informationen ist. Für das Fachwissen gilt somit nicht nur, dass sich die Schüler ähnlich viel Wissen aneignen, sondern das Wissen auch auf einer ähnlichen Komplexitätsstufe nutzen.

Es wurden in den Gruppen überwiegend Schritt-für-Schritt-Modelle gebildet, die als funktional für das Lösen der beiden Aufgabe angesehen werden können. Interessant ist, dass sich in den Zeichnungen zeigte, dass Schüler mit einem korrekten mentalen Modell die meisten richtigen Lösungen fanden, dass dieses aber keine notwendige Bedingung darstellt, da 17% der Schüler eine richtige Lösung ohne korrektes mentales Modell entwickelten. Im Bereich der Systemsteuerung lassen sich ähnliche Ergebnisse über die

Bedeutung der Korrektheit von mentalen Modellen finden (Ringelband, Misiak & Kluwe, 1990).

8.9 Problemlösestrategien

Im Folgenden werden die Entwicklung der Problemlösestrategien und ihre Auswirkungen auf die Problemlöseleistung diskutiert. In der Auswertung der Interviews und Videos konnten drei verschiedene Problemlösestrategien (Trial & Error, symptombasierte und schrittweise Strategie) klar identifiziert werden. Die Verteilung der Strategien innerhalb der drei Gruppen unterscheidet sich nicht. Schaper und Sonntag (1997) haben in ihrer Untersuchung von erfahrenen und unerfahrenen Instandhaltern beim Lösen diverser Diagnoseaufgaben folgende Unterschiede gefunden: Im Wesentlichen unterscheiden sich die Könner von Anfängern darin, dass sie weniger Handlungsschritte benötigen, den Fehlerort schneller eingrenzen, ihn vermehrt unterlagenorientiert suchen und schliesslich deutlich weniger irrelevante Handlungen ausführen. Einige dieser Befunde konnten für den Vergleich zwischen Trial & Error-Strategie mit systematischer und schrittweiser Strategie bestätigt werden. Die Schüler mit der schrittweisen Strategie hatten vermehrt vollständig korrekte mentale Modelle, fanden in der praktischen Fehlersuche mehr Fehler, brauchten dafür aber mehr Zeit als die Schüler mit einer symptombasierten Strategie. Das Ergebnis, dass es keine Unterschiede in der Verteilung der Strategien zwischen den Gruppen gibt, deutet darauf hin, dass es sich um allgemeinere systemunabhängige Strategien handelt. Dies steht im Einklang mit den Strategiekonzeptionen von Hussy (1993) und Dörner (1995). Andresen und Schmid (1993) fanden ebenfalls empirische Belege für die Invarianz von Problemlösestrategien in komplexen Problemlöseaufgaben.

Die deutliche Auswirkung von Strategien auf die praktische Problemlöseleistung legt das Training von Strategien im Berufsschulunterricht nahe. Die Wirksamkeit eines spezifischen Strategietrainings im pneumatischen Diagnoseprozess konnte Zehrt (1997) sehr eindrücklich in seinen Untersuchungen belegen. Lieberei (1995) integrierte in seine Untersuchungen strategische Elemente mit Copingmechanismen für belastende Diagnosesituationen und zeigt deren Wirksamkeit im Bereich der elektropneumatischen Schaltungen.

8.10 Kognitive Fähigkeiten

In der Untersuchung wurden die kognitiven Fähigkeiten (logisches Denken, räumliches Vorstellungsvermögen, physikalisch-technisches Problemverständnis) als intervenierende

Variablen konzeptualisiert. Die Gruppen wurden hinsichtlich physikalisch-technischen Problemverständnisses parallelisiert. Diese kognitive Fähigkeit hat für alle Aufgaben den höchsten Anteil an Varianzaufklärung.

Empirische Belege für die Bedeutung des physikalisch-technischen Problemverständnisses im Lernprozess liefert die dreijährige Längsschnittstudie von Hany (1994), der sich mit der Frage der Entwicklung und den Einflussfaktoren auf technische Kreativität bei mittel- und hochbegabten Schülern in Gymnasien beschäftigte. Er untersuchte 195 Schüler aus 11 Schulen. Als Einflussfaktoren wurden räumliches Vorstellungsvermögen, logisches Denken, physikalisch-technisches Problemverständnis, Flexibilität der Wissensanwendung, Denkstrategien, wissenschaftliches und technisches Interesse, technische Vorerfahrungen und technisches Problemlösen (Kreativität) gemessen. Basierend auf den Längsschnittauswertungen kommt er zum Schluss, dass für technisches Problemlösen allgemeine Fähigkeiten (räumliches Vorstellungsvermögen und physikalisch-technisches Problemverständnis) relevant sind, die zu Strategien und logischem Denken beim Bearbeiten von technischen Aufgaben führen.

Kreative Lösungen sind durch technische Vorerfahrungen und technisches Interesse geprägt.

So lautet die Schlussfolgerung von Hany (1994): *„The study reinforced that interindividual differences play an important role in the explanation of problem-solving ability among young people and their development, and that these differences should be taken into account in lesson planning“*. (S. 146).

Das erklärt, wieso in der vorliegenden Studie dieser Kompetenz eine so wichtige Bedeutung zukommt. Als weiterer Punkt ist in Betracht zu ziehen, dass der physikalisch-technische Problemverständnisfragebogen (Conrad et al., 1984) Interkorrelationskoeffizienten mit Fachwissen, logischem Denken und räumlichem Vorstellungsvermögen zeigt, die in ähnlicher Weise von Conrad et al. (1984) auch mit anderen Testverfahren für die gleichen Konstrukte berichtet werden.

8.11 Integrierende Betrachtungen

Den Abschluss der Arbeit bildet eine übergreifende Betrachtung der Ergebnisse um die Ableitung von weiteren Konsequenzen für Forschung und Praxis zu diskutieren.

In den vorliegenden Auswertungen zeigte sich stringent, dass die Lernumgebungen mit ihren Codierformaten (real-bildlich, symbolisch, gemischt) und Handlungsarten (real,

medial vermittelt, kombiniert) einen geringen bis keinen Einfluss auf die verschiedenen Arten von Lernoutput (Fachwissen, praktische und symbolbasierte Fehlersuche, Konstruktion), mentalen Modellen und Problemlösestrategien bewirkten. Die meisten Hypothesen, abgeleitet aus vorwiegend experimentell gewonnenen Theorien der Lern- und Gedächtnisforschung, konnten nicht bestätigt werden.

Aus der Sicht für Entwickler von neuen Lernmedien ist dies ein ernüchterndes Ergebnis. Es zeigt sich, dass die Lernprozessunterstützung durch Multicodierung und Handlungsarten im realen Kontext anders wirksam ist, als dies in der experimentellen Medien- und Handlungsforschung angenommen wird. Weiter zeigt sich, dass sich die von gegenständlich orientierten Handlungstheoretikern gewonnenen Erkenntnisse aus der Produktion (Böhle, 1998) nicht problemlos in Lernkontexte übertragen lassen.

Da die traditionelle Medienforschung bisher auch kaum Leistungsunterschiede zwischen unterschiedlichsten Medien - insbesondere WBT/CBT im Vergleich zu traditionellen Frontalunterricht - fand, bestätigt die vorliegende Untersuchung Bekanntes. Doch diese Beurteilung wird der vorliegenden Untersuchung nicht gerecht. Im Gegensatz zur traditionellen Lernmedienforschung berücksichtigt die Untersuchung die Forderungen von Weidenmann (1993) nach einer differenzierten Untersuchung einzelner Medienaspekte (Symbolsysteme), von Bereiter (1990) nach einer komplexen Lernoutputanalyse in realitätsnahen Kontexten und von Steffens (1998), sich mit bedeutsamen Handlungssequenzen zu beschäftigen.

Im Experiment gefundene Effekte von einzelnen Medienaspekten verschwinden, wenn diese Forderungen erfüllt sind. Heisst das, dass die verschiedenen Symbolsysteme in realen Situationen nicht so wirken, wie in Experimenten empirisch belegt und die daraus abgeleiteten Theorien keinen Erklärungswert für komplexe Sachverhalte liefern? Die Untersuchung würde diesen Schluss nahe legen. Doch hier ist Vorsicht geboten, denn was hat dazu geführt, dass die Effekte im Komplexen bzw. bei umfänglichem Lernmaterial nicht mehr empirisch auffindbar sind? In diesem Zusammenhang kann das ACT* Modell von Anderson (1996) hinzu gezogen werden, der vier Schritte der Wissensentwicklung unterscheidet: Im ersten Schritt eignet sich ein Schüler Wissens Elemente (deklaratives Wissen) an, die im zweiten Schritt durch erste Erfahrungen (aktiv-motorisch, observativ, verbal, mental) mit prozeduralem Wissen erweitert werden. Weiteres Üben führt in einem dritten Schritt zu grösserer Schnelligkeit, Genauigkeit in der Ausführung und geringerer Fehleranfälligkeit von Handlungen. Im vierten Schritt erfolgt die Wissensenerweiterung und -veränderung in Form von Wachstum (Erweiterung von Schemata, mentalen Modellen

etc.), Anpassung (Veränderung von Schemata) und Umstrukturierung (Entwicklung neuer Schemata). Verbindet man das oben Gesagte mit dieser Theorie, so kann man vermuten, dass auf der Stufe der Aneignung von prozeduralem Wissen Effekte der Symbolsysteme (Codierformate) an Bedeutung verlieren. Das ist eine schlüssige Annahme, da die meisten Lernmedienwirksamkeitsuntersuchungen sehr kurz sind und dadurch prozedurales Wissen selten gelernt wird, wodurch die medienspezifischen Effekte im experimentellen Setting bestehen bleiben.

Im Folgenden wird die Wirkung verschiedener Handlungen (mental, real, medial vermittelt) im Bezug zum Gegenstand thematisiert. Bisher lässt sich empirisch festhalten, dass mentales Probehandeln gegenüber verbalem Lernen zu mehr itemspezifischen Wissen führt (Engelkamp, 1997), dass vollständiges mentales Probehandeln besser als das Vorstellen von Teilhandlungen ist (Oesterreich & Köddig, 1995) und dass aktives Berühren gegenüber reinem Betrachten einen Behaltensvorteil bewirkt (Gibson, 1963). In der vorliegenden Untersuchung konnte festgestellt werden, dass sowohl das Handeln mit dem realen Gegenstand, als auch das medial via Maus vermittelte Handeln mit symbolischen Abstraktionen des realen Gegenstands zu vergleichbaren Lernleistungen führt. Da sich geringe Lernoutputunterschiede in den Bereichen Fachwissen, praktisches Problemlösen, mentale Modelle und Problemlösestrategien ergaben, liegt es nahe, das Ausführen von Handlungen an sich (als gemeinsames Merkmal der verschiedenen Lernsituationen) und nicht der Bezug zwischen Handlung und Gegenstand im Sinne von Leontjew (1977) als lernrelevant anzunehmen. Um eine schlüssige und empirisch valide Aussage diesbezüglich zu machen, müsste in weiteren Untersuchungen eine Vergleichsgruppe gebildet werden, die einen geringen bis keinen Handlungsanteil aufweist, z. B. ausschliesslich mit Papier und Bleistift Pneumatik lernt und alle Schaltungen nur mental bearbeiten darf.

Die Untersuchung konnte verschiedene forschungsrelevante Dinge in Bezug auf Lernmediengestaltung aufzeigen, die bisher kaum in dieser Differenziertheit und Umfänglichkeit formuliert wurden. Die folgende Betrachtung und Diskussion wird nicht mehr wie bisher ausschliesslich auf der Ebene von Lernmedienunterschieden, sondern von Lernmediengemeinsamkeiten geführt, um allgemeine Aussagen über Lernen und Medienwahl treffen zu können.

Es lässt sich feststellen, dass kognitive Fähigkeiten als zentrale Einflussgrössen bei der Analyse von Lerneffekten grundsätzlich nicht fehlen dürfen.

Vorwissen wirkt sich nicht immer positiv auf den Wissenszuwachs aus, z. B. muss das jeweilige Kursniveau für die Interpretation von Untersuchungsergebnissen immer berücksichtigt werden.

In Bezug auf die Entwicklung mentaler Modelle konnte die Untersuchung zeigen, dass Schüler sowohl operationale als auch funktionale Erklärungen entwickeln und nicht wie in bisherigen Forschungen angenommen nur wenn-dann-Muster (Anderson, 1996). Technische Aufgabenstellungen werden überwiegend auf der Basis von Schritt-für-Schritt-Modellen und nicht vollständigen mentalen Modellen gelöst. Eine Ursache kann in der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 1998) liegen. In die Systemanalyse werden meistens nur zwei bis drei Komponenten direkt (Erklärungskomplexität) mit einbezogen, was bei hoher Vernetztheit von Systemelementen in komplexen realen Anlagen zu fatalen Fehltritten führen könnte, wenn die Verkopplung und die Wirkungsbreite von möglichen Systemveränderungen nicht berücksichtigt werden. Die Annahme, dass Personen während der Aufgabenlösung mental simulieren (Rouse & Morris, 1986), konnte erhärtet werden. Real-praktische Erfahrungen führen dazu, dass Fehler in realen Systemen bewusster gefunden werden, die mentale Repräsentationsflexibilität etwas höher ist, dies aber keinen Leistungsvorteil erbringt. Die Wahl eines Lernsystems kann für Basiskurse rein kostenorientiert erfolgen, ohne wesentliche Leistungseinbußen im Lernerfolg in Kauf zu nehmen.

Erfolgreiche praktische Fehlersuche zeichnet sich aufgrund dieser Untersuchung durch Schritt-für-Schritt oder symptomorientierte Strategien aus, verbunden mit einem angemessenen korrekten mentalen Modell sowie leicht überdurchschnittlichem physikalisch-technischem Problemverständnis, logischem Denken, räumlichem Vorstellungsvermögen und spezifischem Fachwissen. Dies hat praktische Implikationen für den Unterricht, der neben Fachwissen auch spezifisches Strategietraining anbieten sollte, um die Leistungen der Schüler in praktischen Aufgaben zu verbessern. Für die Wirksamkeit von Strategietraining lassen sich Hinweise bei Zehrt (1997) finden.

Ein weiteres, aus praktischer Perspektive relevantes Ergebnis ist die relativ schlechte Leistung der FluidSim-Gruppe in der Konstruktionsaufgabe gegenüber der Leistung in der symbolbasierten Fehlersuche. Bei FluidSim handelt es sich ja gerade um eine Konstruktionssoftware. Möglicherweise simulierten die Schüler im Unterricht weniger mental, da dieser Prozess durch die computerbasierte Simulation ständig im Unterricht externalisiert werden konnte. Um das zu verhindern, könnte den Schülern die computerunterstützte Simulation erschwert werden, z. B. indem sie in einen Textfenster in

FluidSim angeben müssten, wie sich die Simulation verhalten wird und warum. Dadurch liessen sich mentale Verarbeitungsmechanismen und Hypothesenbildungsprozesse unterstützen, wie es z. B. mit dem PULSE-System von Willms, Göhler und Möbus (1997) und Willms und Möbus (1998) gezeigt wurde. Ein weiterer Aspekt im Zusammenhang mit FluidSim ist, dass die Schüler den systematisch geordneten Schaltungsaufbau innerhalb der Software schlecht auf die realen Schläuche und den Systemaufbau übertragen können. Neben dem symbolbasierten Schaltplan würde sich darum eine Option für einen virtuell real-bildlichen Schaltungsaufbau anbieten.

Der wissenschaftliche Wert dieser Arbeit ist insbesondere in der detaillierten Analyse von Lernoutput in Abhängigkeit von verschiedenen Lernmedien zu sehen und in den Rückschlüssen auf mögliche Lernprozesse. Es wurde im Laufe der Arbeit deutlich, dass Lernmedien relativ wenige Effekte auf den quantitativen Lernoutput zeigen, sehr wohl aber im Bereich der qualitativen Aspekte wie Repräsentationsformat, Erklärungsstrukturen und Komponentenschwierigkeiten auffindbar sind. Problemlösestrategien sind zwar nicht durch Lernmedien bedingt, aber zeigen einen wesentlichen Einfluss auf die praktische Fehlersuche. Personenbezogene Faktoren, in diesem Fall physikalisch-technisches Problemverständnis, sind von immenser Bedeutung für die unterschiedlichsten Lernleistungen. Weitere Forschung sei von den vorliegenden Ergebnissen zur Vertiefung der Gegenständlichkeit und Multicodierung inspiriert, da sich mit dieser Arbeit einige ungeklärte, spannende Fragen aufgetan haben.

9 Zusammenfassung

Die Arbeit beschäftigt sich mit der folgenden Frage:

Welche *Auswirkungen* hat Multicodalität in Form verschiedener *Symbolsysteme* (Bilder, Zeichnungen, Texte etc.) und Multimodalität in Form verschiedener *Handlungsarten* und *Gegenständlichkeiten* (real-gegenständlich/mausvermittelt/kombiniert) auf die Entwicklung von Fachwissen, praktischem Problemlösen, mentalen Modellen und Problemlösestrategien?

Für die Beantwortung der Forschungsfrage wurde ein quasi-experimentelles Design mit vier Gruppen entwickelt. Je eine Gruppe arbeitete mit realen Komponenten, der Simulationssoftware FluidSim, dem Lernsystem CLEAR oder diente als Kontrollgruppe. In zwei Berufsschulen und zwei Colleges aus vier verschiedenen Ländern (Deutschland, Portugal, Holland und England) wurden $N = 92$ Schüler in der Hauptstudie unterrichtet. Die Daten von 54 Schülern im Alter von $\underline{M} = 19$ Jahre, $SD = 2$ flossen in die Endauswertung ein.

Die Schüler absolvierten einen Vortest über kognitive Fähigkeiten (physikalisch-technisches Problemverständnis, logisches Denken, räumliches Vorstellungsvermögen), theoretisches Vorwissen in Pneumatik und Motivation. Die Schüler wurden in vier Gruppen hinsichtlich ihres physikalisch-technischen Problemverständnisses parallelisiert. Anschliessend erhielten sie einen 16-stündigen standardisierten Einführungskurs in Pneumatik.

Der Nachtest erfasste theoretisches Fachwissen und praktische Kompetenz (praktische Fehlersuche, symbolbasierte Fehlersuche, Konstruktionsaufgabe). Die praktische Fehlersuche wurde auf Video aufgezeichnet und anschliessend erfolgte ein Interview mit Videokonfrontation für die Erfassung der mentalen Denkprozesse während der praktischen Aufgabenlösung. Nach der symbolbasierten Fehlersuche wurde ebenfalls ein Interview über mentale Denkprozesse durchgeführt.

Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgte auf zwei Ebenen:

1. Lernoutput in pneumatischem Fachwissen und praktischen Kompetenzen
2. Prozessbeschreibungen durch gebildete mentale Modelle und identifizierte Problemlösestrategien

Für die mentalen Modelle wurde ein differenziertes Kategoriensystem entwickelt, das auf theoretischen Annahmen und den Interviewdaten basiert. Die Problemlösestrategien stammen sowohl aus den Interviewdaten als auch aus der systematischen Verhaltensbeobachtung.

1. Lernoutput

Die Gruppen unterscheiden sich nicht im theoretischen Fachwissenszuwachs (reale Gruppe $\underline{M} = 48$, $SD = 13$; FluidSim-Gruppe $\underline{M} = 51$, $SD = 16$; CLEAR-Gruppe $\underline{M} = 47$, $SD = 23$). Entspricht das Aufgabendarstellungsformat der Lernerfahrung (real-praktische Erfahrung in der realen Gruppe oder symbolbasierte Erfahrung in der FluidSim-Gruppe) resultieren tendenziell (nicht signifikant) bessere Leistungen. In der praktischen Fehlersuche äusserte sich dies in einer zusätzlich etwas schnelleren Lösungszeit und den meisten gefundenen Fehlern der realen Gruppe im Vergleich zu den anderen. Neben diesen Haupteffekten zeigt sich auf deskriptiver Ebene mittels der gewonnenen Mittelwerte, dass die CLEAR-Gruppe mit der Medienkombination sowohl in der praktischen als auch der symbolbasierten Fehlersuche bezüglich der Anzahl gefundener Fehler zwischen der FluidSim-Gruppe und der realen Gruppe liegt. In der praktischen Fehlersuche fand die reale Gruppe $\underline{M} = 4.1$ Fehler, $SD = 1.4$; die FluidSim-Gruppe $\underline{M} = 3.4$ Fehler, $SD = 1.5$ und die CLEAR-Gruppe $\underline{M} = 3.9$ Fehler, $SD = 1.5$. In der symbolbasierten Fehlersuche wurden von der realen Gruppe $\underline{M} = 2.9$ Fehler, $SD = 2.0$; der FluidSim-Gruppe $\underline{M} = 3.3$ Fehler, $SD = 1.5$ und der CLEAR-Gruppe $\underline{M} = 3.1$ Fehler, $SD = 1.7$ gefunden.

In der Konstruktionsaufgabe ergeben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede (reale Gruppe $\underline{M} = 2.9$, $SD = 1.6$; FluidSim-Gruppe $\underline{M} = 2.4$, $SD = 1.3$; CLEAR-Gruppe $\underline{M} = 3.0$, $SD = 1.4$). Die FluidSim-Gruppe konnte trotz des Trainings mit einer Konstruktionssoftware am wenigsten Funktionsschritte in der Konstruktionsaufgabe realisieren.

In allen Bereichen zeigt sich, dass physikalisch-technisches Problemverständnis 19% Varianz in der praktischen Fehlersuche, 43% in der symbolbasierten Fehlersuche, 52% Varianz in der Konstruktionsaufgabe und 66% des pneumatischen Wissenszuwachses aufklärt. Die drei Lerngruppen erklären keinen zusätzlichen Varianzanteil.

Innerhalb der Lerngruppen (Intragruppeneffekt) zeigt sich für die reale Gruppe ein signifikanter Leistungsunterschied zwischen der praktischen und der symbolbasierten Fehlersuche, d. h., die Schüler fanden in der praktischen Fehlersuche deutlich mehr Fehler. Die FluidSim-Gruppe zeigt in der Konstruktionsaufgabe signifikant schlechtere Leistungen als in der symbolbasierten Fehlersuche.

2. Prozessbeschreibungen

Die FluidSim-Gruppe verwendete tendenziell ein symbolisches Repräsentationsformat für ihre mentalen Modelle. Die reale Gruppe und die CLEAR-Gruppe verwendeten in der praktischen Fehlersuche tendenziell ein real-bildliches Repräsentationsformat und in der symbolbasierten Fehlersuche entweder ein real-bildliches, symbolisches oder gemischtes Repräsentationsformat.

Die CLEAR-Gruppe verwendete signifikant mehr operationale Erklärungen als die reale Gruppe. In der Erklärungskomplexität zeigt sich, dass funktionale und operationale Erklärungen mit zwei Komponenten in der realen Fehlersuche und zwei bis drei Komponenten in der symbolbasierten Fehlersuche angewendet wurden. Die Gruppen bildeten überwiegend Schritt-für-Schritt-Modelle für die Lösung der Aufgabe. Diejenigen Schüler mit richtigen mentalen Abbildern hatten die meisten richtigen Lösungen in der praktischen Fehlersuche.

Die Problemlösestrategien lassen sich in drei verschiedene Typen unterteilen: (1) Trial & Error-Strategie, (2) symptom-basierte und (3) schrittweise Strategie. Die Trial & Error-Strategie zeichnet sich durch viele Systemeingriffe aus. Die Strategie führt zum Auffinden von wenigen Fehlern. Die Schüler mit dieser Strategie verfügen über deutlich geringere kognitive Fähigkeiten (physikalisch-technisches Problemverständnis, räumliches Vorstellungsvermögen, logisches Denken) und weniger pneumatisches Fachwissen. Die Schüler mit der symptom-basierten Strategie fanden am schnellsten Fehler, aber weniger in der Anzahl als die mit der schrittweisen Strategie. Die Schüler mit der schrittweisen Strategie zeichnen sich durch die meisten richtigen mentalen Abbilder der Schaltung aus.

Die Studie zeigt, dass unterschiedlicher Lernoutput stark von einem personenbezogenen Merkmal (physikalisch-technisches Problemverständnis) beeinflusst wird. Dieser Effekt ist in der praktischen Fehlersuche am geringsten, denn dort spielen die verwendeten Strategien eine wesentliche Rolle. Die verwendeten Strategien sind lernmedienunabhängig. Da insbesondere schlechte Schüler mit geringen kognitiven Fähigkeiten und Fachwissen eine Trial & Error-Strategie verfolgen, sollte ein Strategietraining im Unterricht eingeführt

werden, wie es beispielsweise Zehrt (1997) beschreibt. Im Zusammenhang mit praktischen Aufgaben ist die Vollständigkeit des mentalen Modells leistungsrelevant. Die Bildung korrekter mentaler Modelle sollte im Unterricht mit Visualisierungstools (grafischen Darstellungen, Zeichnungen etc.) oder bei computerunterstütztem Unterricht mittels einer Hypermedia-Bedienoberfläche mit verschiedenen Darstellungsarten des Lerninhalts (Heuer, Ali & Hollender, 1995) gefördert werden.

Lernmedien wirken sich eher qualitativ auf die Art der Wissensrepräsentation und die Erklärungsstrukturen aus, ausserdem ergeben sich medienspezifische Komponentenschwierigkeiten. All diese Aspekte sind nicht leistungsbestimmend. Es stellt sich also die Frage, ob diese qualitativen Unterschiede für die Schüler in der Zukunft oder bei komplexeren Themenstellungen relevant werden könnten. Hier ist weitere Forschung notwendig.

Die geringe Wirkung der Gegenständlichkeit (Lernen mit realen Komponenten) auf den Lernoutput liegt möglicherweise darin begründet, dass sie insbesondere beim Erlernen von einzelnen, losen Wissens-elementen wirksam wird und bei komplexen umfangreichen Trainingsinhalten an Bedeutung verliert. Das Gleiche scheint für die Multicodierung von Informationen in der Wissensentwicklung zu gelten. Wo dieser Übergang (Komplexitätsstufe des Unterrichtsmaterials) liegt, ist bisher ungeklärt und weitere Forschung könnte hier ein vertieftes Verständnis der Gegenständlichkeit erbringen, da bisher entweder nur sehr kurze Lernsequenzen oder jahrelange Arbeitserfahrungen untersucht wurden. Ausserdem sollten Lernmedienforscher auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse stärker spezifischere qualitative Lerneffekte analysieren und reflektieren.

10 Literatur

- Ackermann, P. L. (1989). Individual differences and skill acquisition. In P. L. Ackermann, R. J. Sternberg & R. Glaser (Eds.), *Learning and individual differences* (pp. 165-217). New York: Freeman.
- Alesandrini, K. L. (1987). Computer graphics in learning and instruction. In H. A. Houghton & D. M. Willows (Eds.), *The psychology of illustration*. Vol. 2 (pp. 158-188). New York: Springer.
- Aliakseyeu, D., Subramanian, S., Martens, J.-B. & Rauterberg, M. (2002). Interaction techniques for navigation through and manipulation of 2D and 3D data. In S. Müller & W. Stürzlinger (Eds.), *Eighth Eurographics Workshop on Virtual Environments 2002* (pp. 1-10). New Jersey: ACM.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1993). *Rules of mind*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Andresen, N. & Schmid, U. (1993). Zur Invarianz von Problemlösestilen über verschiedene Bereiche. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 40, 1-17.
- Arias, E., Eden, H., Fischer, G. (1997). Enhancing, communication, facilitating shared understanding and creating better artifacts by integrating physical and computational media for design. In *Proceedings of Symposium on Designing Interactive Systems 1997* (pp.1-12). New York: ACM Press. [http://delivery.acm.org/10.1145/270000/263553/p1-arias.pdf?key1 = 263553&key2 = 2357681401&coll = portal&dl = ACM&CFID = 6630643&CFTOKEN = 82991003](http://delivery.acm.org/10.1145/270000/263553/p1-arias.pdf?key1=263553&key2=2357681401&coll=portal&dl=ACM&CFID=6630643&CFTOKEN=82991003) (10.12.2002).
- Arias, E., Eden, H., Fischer, G., Gorman, A. & Scharff, E. (1999). Beyond access: Informed participation and empowerment. In C. Hoadley & J. Roschelle (Eds.), *Proceedings of the Computer Support for Collaborative Learning (CSCCL)*. New York: Lawrence Erlbaum. <http://kn.cilt.org/csccl99/A02/A02.HTM> (12.12.2002).
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 2, pp. 89-195). New York: Academic Press.
- Aufenanger, S. (1999). Lernen mit neuen Medien - Was bringt es wirklich? *medien praktisch*, 4, 4-8.
- Ausubel, D. P. & Robinson, F. G. (1969). *School learning: An introduction to educational psychology*. New York: Holt.
- Baddely, A. (1986). *So denkt der Mensch*. München: Droemer Knaur.
- Baddely, A. (1998). *Human Memory*. Needham Heights: Allyn & Bacon.

- Bainbrigde, L. (1992). *Mental models in cognitive skills: The example of industrial process operation*. <http://www.bainbrg.demon.co.uk/Papers/MM.html> (2.6.2001).
- Baitsch, C. (1985). *Kompetenzentwicklung und partizipative Arbeitsgestaltung*. Bern: Lang.
- Ballin, D. & Brater, M. (1996). *Handlungsorientiert lernen mit Multimedia*. Nürnberg: Bildung und Wissen.
- Bereiter, C. (1990). Aspects of educational learning theory. *Review of Educational Research*, 60, 603-624.
- Bereiter, C. (2002). *Education and mind in the knowledge age*. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Bergmann, B., Fritsch, A., Göpfert, P., Richter, F., Wardanjan, B. & Wilczeck, S. (2000). *Kompetenzentwicklung und Berufsarbeit*. Münster: Waxmann.
- Berry, D. C. (1991). The role of action in implicit learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 43, 881-906.
- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A, 209-231.
- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1987). The combination of implicit and explicit learning processes. *Psychological Research*, 49, 7-15.
- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1988). Interactive tasks and the implicit-explicit distinction. *British Journal of Psychology*, 79, 251-272.
- Bloom, B. S., Engelhardt, M. B., Furst, E. J., Hill, W. H. & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals (Handbook I. Cognitive Domain)*. New York: Longman.
- Blumstengel, A. (1998). *Entwicklung hypermedialer Lernsysteme*. Berlin: wvb.
- Böhle, F. (1998). Neue Anstöße für die Technikgestaltung aus der Perspektive subjektivierenden Arbeitshandelns. In I. Rügge, B. Robben, E. Hornecker & F. Bruns (Hrsg.), *Arbeiten und begreifen: Neue Mensch-Maschine-Schnittstellen* (S.19-28). Münster: LIT.
- Böhle, F. & Milkau, B. (1988). *Vom Handrad zum Bildschirm - eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozess*. Frankfurt am Main: Campus.
- Böhle, F. & Schulze, H. (1997). Subjektivierendes Arbeitshandeln. In C. Schachtner (Hrsg.), *Technik und Subjektivität* (S. 26-46). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Bortz, J. (1993). *Forschungsmethoden und Evaluation* (2. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (1993). *Statistik: Für Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Berlin: Springer.
- Brauer, V. (1999). *Gegenständliche Benutzerschnittstellen für die Mensch-Computer-Interaktion*. Unveröff. Diss., Universität Bremen, Bremen.
- Brickenkamp, R. (1972). *d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test*. Göttingen: Hogrefe.
- Briggs, R. D., Tosi, D. J. & Morley, R. M. (1971). Study habit modification and its effect on academic performance: A behavioral approach. *Journal of Educational Research*, 64, 347-350.

- Brockenmeyer, H. (1992). Vom ORBIS PICTUS des Comenius bis zum Lernsystem MULTIMEDIA. *Humankybernetik*, 33, 59-64.
- Broadbent, D. E. (1977). Levels, hierarchies and the locus of control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29, 181-201.
- Broadbent, D. E. & Aston, B. (1978). Human control of a simulated economic system. *Ergonomics*, 21, 1035-1043.
- Broadbent, D. E., FitzGerald, P. & Broadbent, M. H. P. (1986). Implicit and explicit knowledge in the control of complex situations. *British Journal of Psychology*, 77, 33-50.
- Bruenen, R., Steinbacher, S., Schnotz, W. & Leutner, D. (2001). Mentale Modelle und Effekte der Präsentations- und Abrufkodalität beim Lernen mit Multimedia. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15, 16-27.
- Bruner, J. & Haste, H. (1987). Introduction. In J. Bruner & H. Haste (Eds.), *Making sense - the child's construction of the world* (pp. 1-25). London: Methuen.
- Bruns, F. W. (1997). Sinnlichkeit und Technikgestaltung. In C. Schachtner (Hrsg.), *Technik und Subjektivität* (S. 191-208). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Buchner, A. (1992). *Implizites Lernen: Probleme und Perspektiven*. München: Psychologie Verlags Union.
- Buchner, A. & Wippich, W. (1997). Differences and commonalities between implicit learning and implicit memory. In M. A. Stadler & P. A. French (Eds.), *Handbook of implicit learning* (pp. 3-46). London: SAGE Publications.
- Christensen, J. M. & Howard, J. M. (1981). Field experience in maintenance. In J. Rasmussen & W. B. Rouse (Eds.), *Human detection and diagnosis of system failures* (pp. 111-126). New York: Plenum Press.
- Cleeremans, A. (1997). Principles of implicit learning. In D. C. Berry (Ed.), *How implicit is implicit learning?* (pp. 195-233). New York: Oxford University Press.
- Cleeremans, A. & McClelland, J. L. (1991). Learning and the structure of event sequences. *Journal of Experimental Psychology*, 120, 235-253.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York: Academic Press.
- Comeau, B. J. (1986). Does your CBT course teach performance? *Training and Development Journal*, 40, 42-44.
- Conrad, W., Baumann, E. & Mohr, V. (1984). *MTP: Mannheimer Test zur Erfassung physikalisch-technischen Problemlösens*. Göttingen: Hogrefe.
- Cooper, G. (1997). *Research into cognitive load theory and industrial design at UNSW. Sydney*. http://www.arts.unsw.edu.au/schools/education/CLT_NET_Aug_97_HTML (12.3.1999).
- Craik, F. I. M. & Lockhardt, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 11, 671-684.
- Cranach, M. von, Kalbermatten, U., Indermühle, K. & Gugler, B. (1980). *Zielgerichtetes Verhalten*. Bern: Huber.
- Dede, C., Salzman, M. C., Loftin, R. B. & Sprague, D. (1999). Multisensory immersion as a modeling environment for learning complex scientific concepts. In N. Roberts, W.

- Feuerzeig & B. Hunter (Eds.), *Computer modeling and simulation in science and mathematics education* (pp. 282-319). Heidelberg: Springer.
- Deffner, G. (1989). Interaktion zwischen Lautem Denken, Bearbeitungsstrategien und Aufgabenmerkmalen. *Kognition & Sprache*, 8, 98-111.
- de Kleer, J. & Brown, J. S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 155-190). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Dörner, D. (1974). *Die kognitive Organisation beim Problemlösen*. Bern: Huber.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Dörner, D. (1992). *Die Logik des Misslingens*. Reinbeck: Rowohlt.
- Dörner, D. (1995). Gedächtnis und Problemlösen. In D. Dörner & E. van der Meer (Hrsg.), *Das Gedächtnis. Probleme - Trends - Perspektiven* (S. 295-320). Göttingen: Hogrefe.
- Dörner, D. & Pfeifer, E. (1993). Strategisches Denken, strategische Fehler, Stress und Intelligenz. *Sprache & Kognition*, 11, 75-90.
- Dörr, G. & Seel, N. M. (1997). Instructional delivery systems and multimedia environments. In S. Dijkstra, N. M. Seel, F. Schott & R. D. Tennyson (Eds.), *Instructional design: International perspectives* (Vol. 2, pp. 145-182). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Downs, R. M. & Stea, D. (1982). *Kognitive Karten*. New York: Harper & Row.
- Dubois, M. & Vail, I. (2000). Multimedia design: The effect of relating multimodal information. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16, 157-165.
- Duncker, K. (1935). *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Berlin: Springer.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens*. Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie.
- Dutke, S. (1996). Mentale Modelle beim Verstehen von Texten: Aktuelles jenseits minimalistischer Positionen. In H. Mandl (Hrsg.), *Bericht über den 40. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in München 1996* (S. 201-206). Bern: Hogrefe.
- Dwyer, F. M. (1975). Effect of students entering behavior on visualized instruction. *Journal of Experimental Education*, 43, 78-43.
- Edelmann, W. (1996). *Lernpsychologie* (5. Aufl.). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Egan, D. E. & Gomez, L. M. (1985). Assaying, isolation and accommodating individual differences in learning a complex skill. In R. Dillon (Ed.), *Individual differences in cognition* (pp.173-217). New York: Academic Press.
- Ehrlich, K. (1996). Applied mental models in Human-Computer Interaction. In J. Oakhill & A. Garnham (Eds.), *Mental models in cognitive science* (pp. 223-245). Hove: Psychology Press.
- Engelkamp, J. (1991). *Das menschliche Gedächtnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Engelkamp, J. (1997). *Das Erinnern eigener Handlungen*. Göttingen: Hogrefe.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. D. (1983). Zum Einfluss von Wahrnehmen und Tun auf das Behalten von Verb-Objekt-Phrasen. *Sprache & Kognition*, 2, 117-127.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. D. (1995). Similarity of movement in recognition of self-performed tasks and verbal tasks. *British Journal of Psychology*, 86, 241-252.

- Engelkamp, J. & Zimmer, H. D. (1996). Organisation and recall in verbal tasks and in subject-performed tasks. *European Journal of Cognitive Psychology*, 8, 257-273.
- Evans, J. (1996). The model theory of reasoning: Current standing and future prospects. In J. Oakhill & A. Garnham (Eds.), *Mental Models in Cognitive Science* (pp. 319-327). Hove: Psychology Press.
- Fassnacht, G. (1995). *Systematische Verhaltensbeobachtung*. München: UTB für Wissenschaft.
- Fjeld, M., Bichsel, M., Rauterberg, M. & Krueger, H. (2001): «BUILD-IT»: Hand in Hand mit dem virtuellen Designer. *Illustrierte Zeitschrift für Arbeitssicherheit IZA*, 1, 9-11.
- Fjeld, M., Lauche, K., Bichsel, M., Voorhorst, F., H. Krueger, H. & M. Rauterberg (2002): Physical and virtual tools: Activity theory applied to the design of groupware. In B. A. Nardi & D. F. Redmiles (Eds.) *A Special Issue of Computer Supported Cooperative Work (CSCW): Activity Theory and the Practice of Design* (Vol. 11, pp. 153-180). Dordrecht: Kluwe Academic Publisher.
- Fischer, G. (2001). External and shareable artifacts as opportunities for social creativity in communities of interest. In J. S. Gero and M. L. Maher (Eds.), *Computational and Cognitive Models of Creative Design V* (pp. 67-89). Sydney: University of Sydney. <http://www.cs.colorado.edu/~gerhard/papers/ccmcd2001.pdf> (12.12.2002).
- FluidSim. Lernsoftware von Festo Didaktik KG, D-73734 Esslingen, 1997.
- Flanagan, J. C. (1954). The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, 51, 327-358.
- Flick, U. (1995). Stationen des qualitativen Forschungsprozesses. In U. Flick, E. v. Kardorff, H. Keupp, L. v. Rosenstil & S. Wolff (Hrsg.), *Handbuch Qualitativer Sozialforschung* (2. Aufl.) (S. 148-176). Weinheim: Beltz.
- Flick, U. (1996). *Qualitative Forschung. Theorien, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften*. Hamburg: Rowohlt.
- Foppa, K. (1999). Das vergessene Gedächtnis: Über rezeptives Erinnern. *Zeitschrift für Psychologie*, 207, 149-172.
- Foppa, K. (2000). Gedächtnis und Lernen: Über die komplizierte Beziehung zweier Verwandter. *Zeitschrift für Psychologie*, 208, 271-283.
- Franke, G. (1999). *Strategisches Handeln im Arbeitsprozess*. Bielefeld: Bertelsmann.
- Fraser, B. J., Walberg, H. J., Welch, W. W. & Hattie, J. A. (1987). Syntheses of educational productivity research. *International Journal of Educational Research*, 11, 145-252.
- French, P. A. & Funke, J. (1995). *Complex problem solving: The European perspective*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Gagné, R. M. (1965). *The conditions of learning*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Galperin, P. J. (1980). *Zu Grundfragen der Psychologie*. Köln: Pahl-Rugenstein.
- Gardner, P. H., Chmiel, N. & Wall, T. D. (1996). Implicit knowledge and fault diagnosis in the control of advanced manufacturing technology. *Behaviour & Information Technology*, 15, 205-212.
- Gellevij, M., Van Der Meij, H., Jong, T. D. & Pieters, J. (2002). Multimodal versus unimodal instruction in a complex learning context. *Journal of Experimental Education*, 70, 215-239.

- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (2001). *Methodologie und Empirie zum situierten Lernen*. (Forschungsbericht Nr. 137). München: Ludwig Maximilians Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Gibson, J. J. (1963). Observations on active touch. *Psychological Bulletin*, 69, 477-491.
- Gittler, G. (1989). *3DW: Dreidimensionaler Würfeltest, Kurzversion*. Göttingen: Beltz Test.
- Glowalla, U. & Häfele, G. (1997). Einsatz elektronischer Medien: Befunde, Probleme und Perspektiven. In L. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 414-434). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Gräsel, C., Prenzel, M. & Mandl, H. (1993). Konstruktionsprozesse beim Bearbeiten eines fallbasierten Computerlernprogramms. In C. Tarnai (Hrsg.), *Beiträge zur empirischen pädagogischen Psychologie* (S. 55-67). Münster: Waxmann.
- Greene, S. L., Gomez, L. M., and Devlin, S. J. (1986). A cognitive analysis of database query production, In *Proceedings of the Human Factors Society 30th Annual Meeting* (Vol. 1, pp. 9-13). Santa Monica: CA.
- Greeno, G. J. (1998). The situativity of knowing, learning and research. *American Psychologist*, 53, 5-26.
- Gruber, H., Mandl, H. & Renkl, A. (2000). Was Lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen? In H. Mandl & J. Gerstenmaier (Hrsg.), *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln* (S.139-156). Bern: Hogrefe.
- Grund, S. & Grote, G. (1999). Auswirkungen von gegenständlich-virtuellem Lernumfeld auf Wissen und Problemlösen. *Arbeit*, 3, 312-317.
- Guttormsen Schär, S. (1998). *Implicit and explicit learning of computerised tasks: The role of the user-interface and task salience*. Unveröff. Diss., Universität Zürich, Zürich.
- Hacker, W. (1998a). *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern: Huber.
- Hacker, W. (1998b). *Diagnose von Expertenwissen*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Hammerl, M. & Grabitz, H.-J. (1993). Unbewusstes Lernen: Ein bewusster Vorgang? Bemerkungen zur Hoffmann-Markowitsch-Debatte. *Psychologische Rundschau*, 45, 37-39.
- Hany, E.-A. (1994). The development of basic cognitive competence of technical creativity: A longitudinal comparison of children and youth with high and average intelligence. In R. F. Subotnik & A. Karen (Eds.), *Beyond Terman: Contemporary longitudinal studies of giftedness and talent* (pp. 115-154). Norwood: Ablex.
- Hasebrook, J. (1995). *Multimedia-Psychologie: Eine neue Perspektive menschlicher Kommunikation*. Berlin: Spektrum.
- Hayes, N. A. & Broadbent, D. E. (1988). Two modes on learning for interactive tasks. *Cognition*, 28, 249-276.
- Hegarty, M. (1999). Multimedia instruction: Lessons from evaluation of a theory-based design. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 8, 119-150.
- Helmke, A. (1992). *Selbstvertrauen und schulische Leistungen*. Göttingen: Hogrefe.
- Heuer, J., Ali, S. & Hollender, M. (1995). *Vermittlung mentaler Modelle in einer chemischen Destillationskolonne mit Hilfe einer Hypermedia-Bedienoberfläche*. http://www.imat.maschinenbau.uni-kassel.de/pdg/der_kurx.html (4.2.2001).

- Hill, T. & Chidambaram, L. (2000). Web-based collateral support for traditional learning. A field experiment. In A. Aggarwal (Ed.), *Web-Based learning and teaching technologies. opportunities and challenges* (pp. 282-292). Hersey: Idea Gr Publishing.
- Hoffmann, J. (1993a). Unbewusstes Lernen - eine besondere Lernform? *Psychologische Rundschau*, 44, 75-89.
- Hoffmann, J. (1993b). Gedächtnis und Lernen, Prozess und Resultat, Inzidentell und Intentional: Eine Erwiderung auf den Kommentar von H.J. Markowitsch. *Psychologische Rundschau*, 44, 109-112.
- Hoffmann, J. (1993c). Unbewusstes Lernen: Gedanken zur weiteren Forschung. *Psychologische Rundschau*, 45, 43-45.
- Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E. & Thargard, P. R. (1986). *Induction: Processes of inference, learning, and discovery*. Cambridge: MIT Press.
- Horn, W. (1969). *P-S-B: Prüfungssystem für Schul - und Bildungsberatung*. Göttingen: Hogrefe.
- Huber, O. (1995). *Das psychologische Experiment: Eine Einführung* (2. Aufl.). Bern: Huber.
- Huldi, M. (1991). *PSB-Horn. Schweizer Eichung 90/91*. Dübendorf: Schriftenreihe des Schweizerischen Verbandes für Berufsberatung, Nr. 43.
- Hussy, W. H. (1993). *Denken und Problemlösen*. Berlin: Kohlhammer.
- Ishii, H., Underkoffler, J., Chak, D., Piper, B., Ben-Joseph, E., Yeung, L. & Kanji, Z. (2002). Augmented urban planning workbench: Overlaying drawings, physical models and digital simulation. In *Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2002*. IEEE Press. http://tangible.media.mit.edu/papers/Urban_Planning_Workbench_ISMAR02/Urban_Planning_Workbench_ISMAR02.htm (12.12.2002).
- Issing, J. L. & Klimsa, P. (1997). *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.
- Jacob, R. J. K., Ishii, H., Pangaro, G. & Patten, J. (2002). A tangible interface for organizing information using a grid. In *Proceedings of CHI 2002*. New Jersey: ACM Press. <http://www.cs.tufts.edu/~jacob/papers/chi02.pdf> (2.1.2003).
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge: MIT Press.
- Kalbermatten, U. (1982). *The self-confrontation interview: An evaluation of research method* (Forschungsbericht). Bern: Universität, Institut für Psychologie.
- Kerres, M. (2001). *Multimediale und telemediale Lernumgebungen: Konzeption und Entwicklung* (2. Aufl.). Wien: Oldenburg.
- Kersten, B., Groner, M. T., Groner, R. & Stadler, U. M. (2001). Evaluation of a computer-based SPSS-course. In O. Johnsen, K. Waeﬂer & G. Zeibekakis (Eds.), *7th International Netties Conference* (pp. 2.6.1-2.6.10). Fribourg: Netties.
- Kirsner, K. (1998). *Implicit and explicit mental processes*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Kleine-Horst, L. (1993). Zur Theorie des impliziten Lernens: Ein Kommentar zu Hoffmanns Bericht über "unbewusstes Lernen", zu Markowitschs Kommentar und zu Hoffmanns Erwiderung. *Psychologische Rundschau*, 45, 40-42.

- Klieme, E., Funke, J., Leutner, D., Reinmann, P. & Wirth, J. (2001). Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz. *Zeitschrift für Pädagogik*, 2, 179-200.
- Klix, F. (1992). *Die Natur des Verstandes*. Bern: Huber.
- Kluwe, R. H. & Haider, H. (1990). Modelle der internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. *Sprache & Kognition*, 9, 173-192.
- Kluwe, R. H., Misiak, C. Ringelband, O. J. & Haider, H. (1987). Learning by doing in the control of a complex system: The benefits from experience and the effects of system characteristics on the learning process. In M. Amelang (Hrsg.) *Bericht über den 35. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Heidelberg 1986*. Bern: Hogrefe.
- Knoblich, G. & Rhenius, D. (1995). Zur Reaktivität Lauten Denkens beim komplexen Problemlösen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 42, 419-454.
- Konradt, U. (1995). Strategies of failure diagnosis in computer-controlled manufacturing systems: Empirical analysis and implications for the design of adaptive decision support systems. *Journal of Human-Computer Studies*, 43, 503-521.
- Kulik, C. & Kulik, J. A. (1991). Effectiveness of computer based instruction. An updated analysis. *Computer in Human Behavior*, 7, 75-97.
- Landauer, T. K. (1997). Behavioral research methods in Human-Computer Interaction. In M. Helander, T. K. Landauer & P. Prabhu (Eds.), *Handbook of Human-Computer Interaction* (2nd ed) (pp. 203-227). New York: Elsevier Science.
- Lai-Chong, L. (2000). Die Überwindung der Kluft zwischen Wissen und Handeln aus situativer Sicht. In H. Mandl & J. Gerstenmaier (Hrsg.), *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln* (S. 251-287). Bern: Hogrefe.
- Larkin, J. H. & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth then thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-69.
- Leontjew, A. N. (1977). *Tätigkeit, Bewusstsein, Persönlichkeit*. Stuttgart: Klett.
- Lieberei, W. (1995). *Handlungs- und Beanspruchungsregulation bei komplexen Arbeitstätigkeiten*. Frankfurt: Peter Lang.
- Lueer, G., Ruhlender, P., Klettke, W. & Lass, U. (1990). Die Konstruktion prozeduralen Wissens unabhängig von deklarativem Wissen: Eine experimentelle Studie. In Groner, R., d'Ydewalle, G., Paraham, R. (Eds.), *From eye to mind: Information acquisition in perception, search and reading*. (Studies in Visual Information Processing, 1) (pp. 141-152), Amsterdam: North-Holland.
- Mandl, H., Balk, M., Reiserer, M., Hinkofer, L. & Kren, F. (2001). *Evaluation of the interactive multimedia business simulation SPACE* (Forschungsbericht 24). München: Universität, Institut für Empirische Pädagogik und Psychologische Pädagogik.
- Mandl, H. & Gerstenmaier, J. (2000). *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln*. Bern: Hogrefe.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1994). Problems of knowledge utilization in the development of expertise. In W. J. Nijhof & J. N. Streumer (Eds.), *Flexibility in training and vocational education* (pp. 291-305). Utrecht: Lemma.
- Mandl, H. & Friedrich, H. F. (1992). *Lern- und Denkstrategien: Analyse und Intervention*. Göttingen: Hogrefe.

- Markowitsch, H. J. (1993). Lernen: Bewusst - unbewusst - implizit - explizit - prozedural - semantisch - episodisch - priming. Ein Kommentar zu Hoffmanns Bericht über "Unbewusstes Lernen". *Psychologische Rundschau*, 44, 106-108.
- May, M. (1992). *Mentale Modelle von Städten. Wissenspsychologische Untersuchungen am Beispiel der Stadt Münster*. München: Waxmann.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, 12, 107-119.
- Mayring, P. (1997). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (6. Aufl.). Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- Mikelskis, H. F. (2000). Untersuchung über multimediales Lernen von Physik. In D. Leutner & R. Bruenken (Hrsg.), *Neue Medien im Unterricht, Aus- und Weiterbildung: Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung* (S. 103-112). Münster: Waxmann.
- Mill, S. (1997). *Leseverhalten Text-Hypertext*. <http://did.mat.uni-bayreuth.de/studium/seminar/hypermedl/mill/lesen.html> (6.7.2000).
- Miller, G. A., Galanter, E. & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behaviour*. London: Holt, Rinehart and Winston.
- Mousavi, S. Y., Low, R. & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of Educational Psychology*, 87, 319-334.
- Najjar, L. J. (1996). Multimedia information and learning. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 5, 129-150.
- Neuweg, G. H. (1999). *Könnerschaft und implizites Wissen*. Münster: Waxmann.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. New York: Prentice Hall.
- Nilsson, L. G. & Bäckman, L. (1991). Encoding dimensions of subject-performed tasks. *Psychological Review*, 53, 212-218.
- Nyberg, L., Nilsson, L. G. & Bäckman, L. (1995). A component analysis of action events. *Psychological Research*, 53, 219-225.
- Oberauer, K. (1993). Die Koordination kognitiver Operationen: Eine Studie über die Beziehung zwischen Intelligenz und "working memory". *Zeitschrift für Psychologie*, 201, 57-84.
- Oesterreich, R. (1994). *Das Netz erinnerbaren Handelns: Ein Gedächtnismodell*. Heidelberg: Asanger.
- Oesterreich, R. & Köddig, C. (1995). Das Generieren von Handlungsvorstellungen im Modell "Netz erinnerbaren Handel" und der Tu-Effekt. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 42, 280-301.
- Opwis, K. (1988). Produktionssysteme. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 74-98). München: Psychologie Verlags Union.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Patten, J. & Ishii, H. (2002). *A comparison of spatial organization strategies in graphical and tangible user interfaces*. http://tangible.media.mit.edu/papers/Comparison_DARE00/Comparison_DARE00.pdf (12.12.2002).

- Piaget, J. (1991). *Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde* (3. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Putz-Osterloh, W. (1974). Über die Effektivität von Problemlösetraining. *Zeitschrift für Psychologie*, 182, 253-276.
- Rasmussen, J. (1981). Models of mental strategies in process plant diagnosis. In J. Rasmussen & W. B. Rouse (Eds.), *Human detection and diagnosis of system failures* (pp. 241-258). New York: Plenum Press.
- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 6, 855-863.
- Reber, A. S. (1993). *Implicit learning and tacit knowledge: An essay on the cognitive unconscious*. Oxford: Oxford University Press.
- Reinmann, P. (1998). Novizen- und Expertenwissen. In F. Klix & H. Spada (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich C, Theorien und Forschung: Serie 2 Kognition, Band 6 Wissen* (S. 335-367). Göttingen: Hogrefe.
- Remdisch, S., Heimbeck, D. & Kolvenbach, T. (2000). Computer-Based Training als innovative Form betrieblichen Lernens: Ein Vergleich verschiedenen Lernformen in der Praxis. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 44, 202-208.
- Renkl, A. (1996). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, 47, 78-92.
- Rhöneck v., C., Schnaitmann, G. W. & Völker, B. (1996). Psychologische Erklärungsversuche für das Lernen in der einfachen Elektrizitätslehre. In R. Duit & C. v. Rhöneck, *Lernen in den Naturwissenschaften* (S. 205-227). Kiel: IPN.
- Riedl, A. (1998). *Verlaufsuntersuchung eines handlungsorientierten Elektropneumatikunterrichts und Analyse einer Handlungsaufgabe*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Rigas, G. & Elg, F. (1997). *Mental models, confidence, and performance in a complex dynamic decision making environment*. <http://www.ie.boun.edu.tr/sesdyn/isdc97/TURKIA.doc> (4.5.2002).
- Ringelband, O. J., Misiak, C. & Kluwe, R. H. (1990). Mental models and strategies in the control of a complex system. In D. Ackermann & M. J. Tauber (Eds.), *Mental models and human-computer interaction* (pp. 151-164). Amsterdam: North-Holland.
- Robben, B. & Rügge, I. (1998) Mit den Händen begreifen: Real Reality. In I. Rügge, B. Robben, E. Hornecker & F. W. Bruns (Hrsg.), *Arbeiten und begreifen: Neue Mensch-Maschine-Schnittstellen* (S. 133-146). Münster LIT.
- Rost, J. & Strauss, B. (1993). Zur Wechselwirkung von Informationsdarbietung und mentalem Modell beim Umgang mit einem komplexen Problem. *Sprache & Kognition*, 12, 73-82.
- Rouse, W. B. (1993). *Catalysts for change: Concepts and principles for enabling innovation*. Weinheim: Wiley.
- Rouse, W. B. & Morris, N. M. (1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin*, 3, 349-363.
- Ryser, C. (2002). *Automation und Kontrolle. Zum Einfluss des Automationsgrades technischer Systeme auf Kontrollstrategien und mentale Repräsentationen*. Unveröff. Diss., Universität Zürich, Zürich.

- Sachse, P. (1999). Unterstützung des entwerfenden Problemlösens im Konstruktionsprozess durch Prototyping. In P. Sachse & A. Specker (Hrsg.), *Design thinking* (S. 68-145). Zürich: vdf.
- Sachse, P., Leinert, S., Sundin, M. & Hacker, W. (1999). Prototyping im Konstruktionsprozess. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaften*, 4, 224-236.
- Saldern, M. (2000). Lehr-Lern-Forschung und Medien - ein kritischer Rückblick. In D. Leutner & R. Brünke (Hrsg.), *Neue Medien im Unterricht, Aus- und Weiterbildung. Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung* (S. 25-36). Münster: Waxmann.
- Schaper, N. & Sonntag, K. (1997). Diagnostisches Handeln von Instandhaltern unterschiedlicher Expertise. In K. Sonntag & N. Scharper (Hrsg.), *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz: Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen Systemen* (S. 155-172). Zürich: vdf.
- Schoppek, W. (1996). *Kompetenz, Kontrollmeinung und komplexe Probleme: Zur Vorhersage individueller Unterschiede bei der Systemsteuerung*. Bonn: Holos.
- Schott, F., Sachse, S. & Schuber, T. (1998). *ELISE-Ein Theorie-, Adressaten- und Evaluatoren-orientiertes Verfahren zur ganzheitlichen Evaluation von multimedialen Lern- und Informationssystemen* (Diskussionspaper 61). Dresden: Technische Universität, Institut für Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie.
- Schüssler, I. (2001). Nachhaltiges Lernen. In *Grundlagen der Weiterbildung/Praxishilfen*, Beitrag 5.310. <http://www.uni-kl.de/paedagogik/Personen/schuessler/hp/text6.htm> (8.1.2003).
- Schunk, D. H. (1991). *Learning theories: An educational perspective*. Toronto: Macmillan.
- Schunk, D. H. (2000). *Learning theories: An educational perspective* (3rd ed.). Toronto: Macmillan.
- Seel, N. M. (1991). *Mentale Modelle und Weltwissen*. Göttingen: Hogrefe.
- Seel, N. M. (2000). *Psychologie des Lernens*. München: Ernst Reinhardt.
- Seifert, R. & Lohmann, H. (1991). Lernabhängige Veränderung der Aufnahme und Repräsentation von Informationen beim Problemlösen. *Zeitschrift für Psychologie*, 1, 71-93.
- Sharpe, R. & Baily, P. (1999). Evaluation and design of technologies to meet learning outcomes. *Journal of Computer Assisted Learning*, 15, 179-188.
- Sickel, H. & Hartmann E. A. (2001). Integration of conceptual and interface design in multimedia learning systems. *Congress presentation on 8th IFAC Symposium on analysis, design and evaluation of Human-Machine Systems. September 18th to 20th 2001 in Kassel*.
- Simons, H., Weinert, F. E. & Ahrens, H. J. (1975). Untersuchungen zur differential-psychologischen Analyse von Rechenleistungen. *Zeitschrift Entwicklung-spsychologie und Pädagogische Psychologie*, 7, 153-169.
- Specker, A. (1999). Gegenständliches CAD. In P. Sachse & A. Specker (Hrsg.), *Design thinking* (S. 148-195). Zürich: vdf.
- Spencer, L. M. & Spencer, S. M. (1993). *Competence at work*. New York: Wiley.

- Stadler, M. A. & French, P. A. (1997). *Handbook of implicit learning*. London: Sage Publications.
- Stark, R., Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (2002). Conditions and effects of example elaboration. *Learning and Instruction*, 12, 39-60.
- Steffens, M. C. (1998). *Das Gedächtnis für ausgeführte Handlungen*. Wien: Pabst.
- Steiner, G. (1988). Analoge Repräsentationen. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 99-109). München: Psychologie Verlags Union.
- Sternberg, R. J. & Horvath, J. A. (1998). *Tacit knowledge in professional practice: Researcher and practitioner perspectives*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Strohschneider, S. (1994). Strategien beim Umgang mit einem komplexen Problem: Ein deutsch-deutscher Vergleich. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 38, 34-40.
- Strohschneider, S. (1997). Eine Nation, zwei Arten des Denkens. *Psychologie-heute*, 24 (3), 30-35.
- Süss, H.-M., Oberauer, K. & Kersting, M. (1993). Intellektuelle Fähigkeiten und die Steuerung komplexer Systeme. *Sprache & Kognition*, 12, 83-97.
- Tergan, S.-O. (1988). Qualitative Wissensdiagnose - methodologische Grundlagen. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 401-422). München: Psychologie Verlags Union.
- Trepte, S. (1999). Forschungsstand der Medienpsychologie. *Medienpsychologie*, 11, 200-218.
- Trier, K. K. (1999). *Comparison of the effectiveness of web-based instruction to oncampus instruction*. <http://asl.ipfw.edu/99tohe/presentations/trier.htm> (6.7.2002).
- Tulving, E. (1983). *Elements of episodic memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Tulving, E. & Osler, S. (1968). Effectiveness of retrieval cues in memory for words. *Journal of Experimental Psychology*, 77, 593-601.
- Ulich, D., Hausser, K., Mayring, P., Strehmel, P., Kandler, M. & Degenhardt, B. (1985). *Psychologie der Krisenbewältigung. Eine Längsschnittstudie mit Arbeitslosen*. Weinheim: Beltz.
- van Merriënboer, J. J. G., Schuurman, J. G., de Croock, M. B. M. & Paas, F. G. W. C. (2002). Redirecting learners' attention during training: Effects of cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, 12, 11-37.
- Vygotskij, L. S. (1974). *Denken und Sprechen*. Stuttgart: Fischer.
- Waldmann, M. R. (1997). Wissen und Lernen. *Psychologische Rundschau*, 48, 84-100.
- Weber, G. (1994). *Fallbasiertes Lernen und Analogien: Unterstützung von Problemlöse- und Lernprozessen in einem adaptiven Lernsystem*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Wegner, S. B., Holloway, K. C. & Garton, E. M. (1999). The effects of internet-based instruction on student learning. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, 3, 98-106.
- Wehner, T. (1990). Über die Hand und das durch Technik Abhandengekommene. In F. Frei und I. Udris (Hrsg.), *Das Bild der Arbeit* (S. 71-89). Bern: Huber.

- Weidenmann, B. (1993). Psychologie des Lernens mit Medien. In A. Krapp, B. Weidenmann, M. Hofer, G. L. Huber & H. Mandl (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 493-554). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Weidenmann, B. (1995). Ist der Begriff "Multimedia" für die Medienpsychologie ungeeignet? *Zeitschrift für Medienpsychologie*, 7, 256-261.
- Weidenmann, B. (1996). Instruktionsmedien. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich D, Praxisgebiete: Serie 1, Pädagogische Psychologie, Band 2 Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 319-368). Göttingen: Hogrefe.
- Weidenmann, B. (1997). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In L. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 65-84). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Weinert, F. E. (1990). Theory building in the domain of motivation and learning in school. In P. Vedder (Ed.), *Fundamental studies in educational research* (pp. 91-120). Amsterdam: Swets & Zeitlinger.
- Weinert, F. E. (1996). Lerntheorien und Instruktionsmodelle. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich D, Praxisgebiete: Serie 1, Pädagogische Psychologie, Band 2 Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 1-48). Göttingen: Hogrefe.
- Weinert, F. E. & Helmke, A. (1995). Inter-classroom differences in instructional quality and interindividual differences in cognitive development. *Educational Psychologist*, 30, 15-20.
- Wickelgren, W. A. (1974). *How to solve problems*. San Francisco: W. H. Freeman & Company.
- Willms, J., Göhler, H. & Möbus, C. (1997). Testing hypothesis in an engineering domain: Combining static and dynamic analysis of pneumatic circuits. In Boulay, B. & Mizoguchi, R. (Eds.), *Artificial Intelligence in Education*. Amsterdam: IOS Press. http://ils.informatik.uni-oldenburg.de/dokumente/1997/97_aiedw.ps.qz (15.12.2002).
- Willms, J. & Möbus, C. (1998). Die Extraktion von Restriktionen aus Aufgabenbeschreibungen für die statische, konzeptbasierte Diagnose von Lösungs- bzw. Schaltungsentwürfen (aus der Pneumatik). In Claus, V. (Hrsg.), *Informatik und Ausbildung: GI-Fachtagung 98 Informatik und Ausbildung* (S. 241-250). Heidelberg: Springer.
- Windlinger, L. (2001). *Evaluation einer multimedialen Lernumgebung für die technische Berufsausbildung hinsichtlich mentaler Modelle*. Unveröff. Liz., Universität Bern, Bern.
- Windlinger, L., Grund, S., Grote, G., Tram, V. V. & Folkers, G. (2002). Unterstützung von Interaktion und Kooperation in Präsenzlerngruppen durch innovative computerbasierte Medien. In G. Bachmann, O. Haefli & M. Kindt (Hrsg.), *Campus 2002: Die virtuelle Hochschule in der Konsolidierungsphase* (S. 366-375). Münster: Waxmann.
- Winterhoff-Spurk, P. (2001). Kassensturz - Zur Lage der Medienpsychologie. *Zeitschrift für Medienpsychologie*, 13, 3-10.
- Wirtz, M. & Caspar, F. (1994). *Ratings: Bestimmung und Verbesserung von Übereinstimmungskoeffizienten* (Forschungsberichte). Bern: Universität, Psychologisches Institut.
- Zimbardo, P. G. (1995). *Psychologie*. Berlin: Springer.

- Zimmer, B. J. (1990). Self-regulated learning and academic achievement: An overview. *Educational Psychologist*, 25, 3-17.
- Zehrt, P. (1997). *Training komplexer Diagnosestrategien am Beispiel der Störungsdiagnose in technischen Systemen*. Unveröff. Diss., Technische Universität Dresden, Dresden.

Anhang

Anhang A: Theorietest

Datum: _____

Name: _____

Theorie Test

Dieser Test wird an folgenden Schulen durchgeführt:

- w
- x
- y
- z

Bei den Auswahl - Fragen gibt es nur eine richtige Lösung. Bitte kreuzen Sie diese Lösung in den unteren Kästchen auf diesem Blatt an. Bitte raten Sie nicht. Falls Sie eine Frage nicht beantworten können, kreuzen Sie nichts an. Sie bekommen keine Zensur für diesen Test.

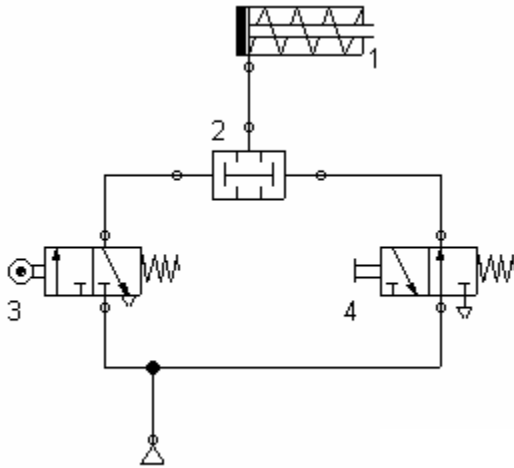
Und nun viel Erfolg!

Auswahl – Fragen 1 - 18 bitte hier ankreuzen:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
a																		
b																		
c																		
d																		

1. Das Symbol Nr. 1 bedeutet

- a) doppeltwirkender Zylinder
- b) einfachwirkender Zylinder
- c) einfachwirkender Zylinder mit Endlagendämpfung
- d) doppeltwirkender Zylinder mit Endlagendämpfung



2. Das Symbol Nr. 2 steht für ein

- a) NICHT-Ventil
- b) ODER-Ventil
- c) UND-Ventil
- d) Drosselrückschlagventil

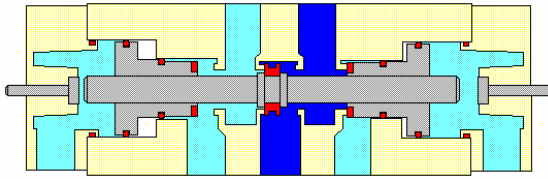
3. Teil 3 wird bedient durch

- a) Rolle
- b) Hebel
- c) Druckknopf
- d) Druckluft

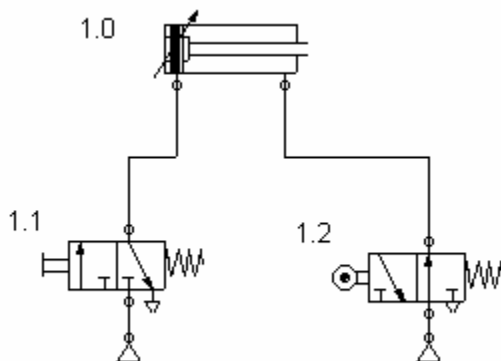
4. Die folgende Schnittdarstellung zeigt ein

- a) 7/2 Wegeventil
- b) 5/3-Wege-Ventil

- c) Impulsventil
- d) Zeitverzögerungsventil

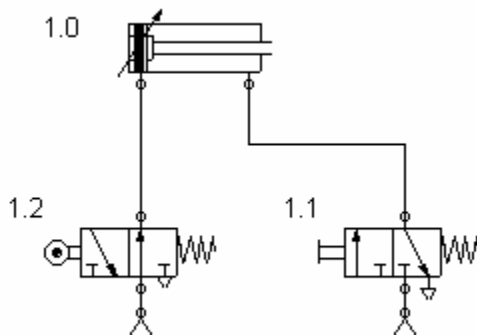


5. Zylinder 1.0 im folgenden Schaltplan...



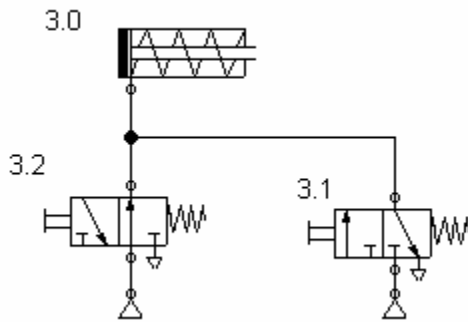
- a) fährt nie aus
- b) fährt aus, wenn 1.1 betätigt wird
- c) fährt immer aus
- d) fährt aus, wenn 1.2 betätigt wird

6. Zylinder 1.0 fährt mit voller Kraft aus, wenn...



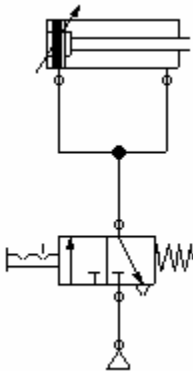
- a) 1.2 und nicht 1.1 betätigt wird
- b) 1.1 und nicht 1.2 betätigt wird
- c) 1.2 nicht und 1.1 nicht betätigt wird
- d) 1.1 und 1.2 betätigt werden

7. Zylinder 3.0 fährt mit voller Kraft aus, wenn folgende Ventile betätigt werden:



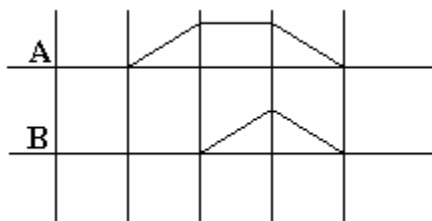
- a) 3.2 und nicht 3.1
- b) 3.1 und nicht 3.2
- c) 3.2 und 3.1
- d) keine Antwort richtig

8. Wenn das Ventil betätigt wird, fährt der Zylinder...



- a) schnell aus und langsam ein
- b) schnell ein und langsam aus
- c) mit gleicher Geschwindigkeit aus und ein
- d) keine Antwort richtig

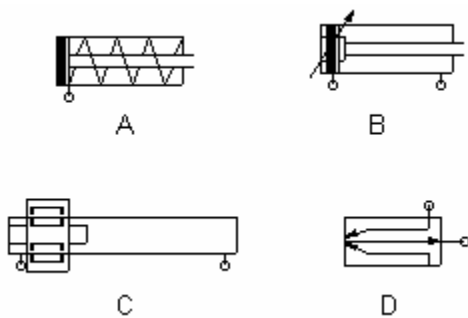
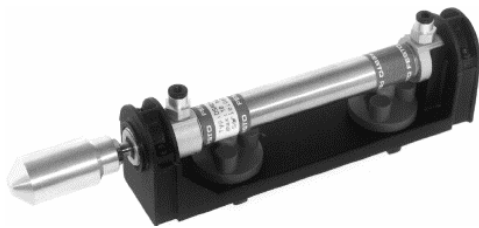
9. Betrachten Sie das Diagramm:



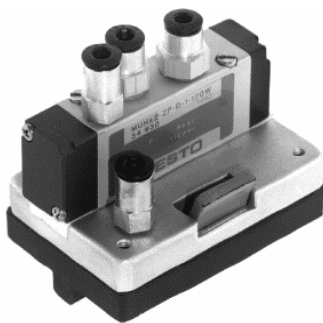
- a) Zylinder A fährt später aus als Zylinder B

- b) Zylinder A fährt vor Zylinder B aus
- c) Zylinder A und Zylinder B fahren gemeinsam aus
- d) keine Antwort richtig

10. Das Bild gehört zu folgendem Symbol...



11. Das Bild zeigt ein...



- a) Geschwindigkeitsregulierventil
- b) 5/2-Wege-Ventil
- c) 3/2-Wege-Ventil
- d) Verteilerventil

12. Das Ventil von Aufg. 11 wird betätigt durch...

- a) Rolle
- b) Druckknopf
- c) Druckluft
- d) keine Antwort richtig

13. Ein Weg-Schritt-Diagramm...

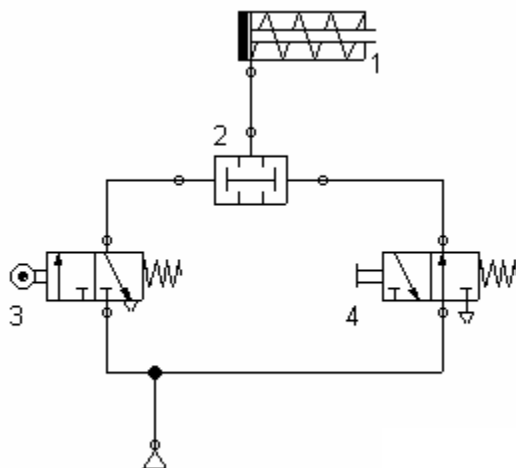
- a) zeigt, wie schnell ein Zylinder ausfährt
- b) zeigt, ob und wann ein Zylinder betätigt wird
- c) hat nichts mit Pneumatik zu tun
- d) ist dasselbe wie ein Weg-Zeit-Diagramm

14. Vom Zylinder ist gegeben: Hub = 100 mm, Durchmesser = 20 mm, Druck = 6bar.

Wie groß ist etwa die Kraft beim Ausfahren?

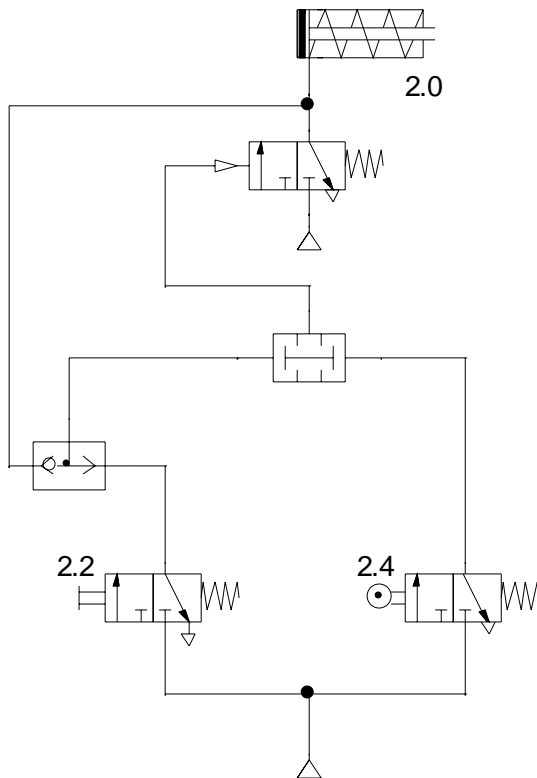
- a) 18,8 N
- b) 188 N
- c) 12 N
- d) 120 N

15. Der Zylinder fährt aus, wenn...



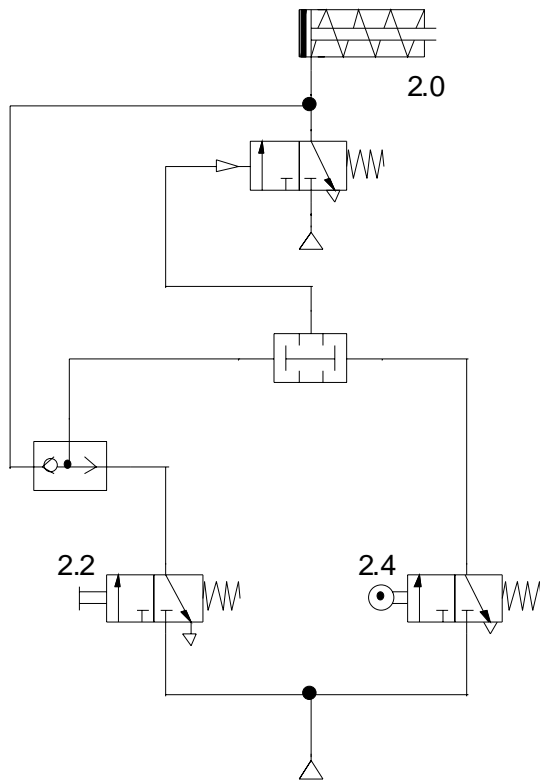
- a) 3 und 4 gleichzeitig betätigt werden
- b) 3 oder 4 betätigt wird
- c) nicht 3 aber 4 betätigt wird
- d) nicht 4 aber 3 betätigt wird

16. Nachdem die Druckluft eingeschaltet wurde, fährt der Zylinder 2.0 aus, wenn...



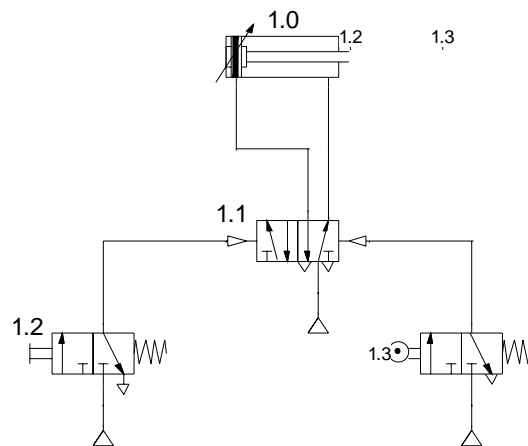
- a) weder 2.2 noch 2.4 betätigt wird
- b) nur 2.2 betätigt wird
- c) nur 2.4 betätigt wird
- d) 2.2 und 2.4 gemeinsam betätigt werden

17. Wenn der Zylinder im folgenden Schaltplan voll ausgefahren ist, fährt er ein, wenn...



- a) 2.2 betätigt wird und 2.4 nicht betätigt wird
- b) 2.4 betätigt wird und 2.2 nicht betätigt wird
- c) 2.4 und 2.2 betätigt werden
- d) keine Antwort richtig

18. Was passiert, wenn 1.2 betätigt wird und dann wieder losgelassen wird?



- a) die Kolbenstange fährt aus und ein
- b) die Kolbenstange bleibt wo sie ist
- c) die Kolbenstange fährt dauernd aus und ein
- d) die Kolbenstange fährt aus und bleibt dort

Aufgabe U1:

Was verstehen Sie unter Pneumatik?

Nennen Sie 2 Anwendungsbeispiele.

Aufgabe U2:

Ein Pneumatikzylinder fährt zu schnell aus.

Wie könnte die Geschwindigkeit verlangsamt werden?

(kurze Erklärung mit Skizze)

Aufgabe U3:

Nachdem ein Startknopf ca. 2 Sekunden lang gedrückt wurde, soll ein Zylinder ausfahren.

Wie könnte man das pneumatisch lösen? (kurze Erklärung mit Skizze)

Anhang B: Praktische Fehlersuche

2 doppeltwirkende Zylinder sollen folgendermaßen gesteuert werden:

1. Zylinder 1.0 fährt schnell aus, wenn Handtaster 0.1 einmal gedrückt wird und der Zylinder 2.0 eingefahren ist.
2. Zylinder 2.0 fährt langsam aus, wenn 1.0 vollkommen ausgefahren ist.
3. Zylinder 1.0 fährt langsam ein, wenn 2.0 ausgefahren ist.
4. Zylinder 2.0 fährt schnell ein, wenn 1.0 vollkommen eingefahren ist.

Die Schaltung vor Ihnen enthält einige Fehler.

Führen Sie eine Funktionsprüfung durch und beseitigen Sie die Fehler.

Dokumentieren Sie kurz auf dem Arbeitsblatt die von Ihnen gefundenen Fehler.

Hauptziel ist es, die Fehler der Schaltung zu finden und **nicht** eine neue Schaltung aufzubauen.

Zeit: 60 min

Anhang C: Arbeitsblatt für die praktische Fehlersuche

Anfangszeit: _____

Datum: _____

Name: _____

Vorname _____

- Tragen Sie bitte ihren Namen in den Kopf des Dokumentes ein.
- Notieren Sie die Anfangszeit der praktischen Aufgabe in die linke Zeitspalte.
- Tragen Sie bitte, sobald Sie einen Fehler gefunden haben, die Uhrzeit ein. Dadurch können wir die Fehlersuche besser nachvollziehen.
- Beantworten Sie bitte die Fragen sofort, nachdem Sie den Fehler gefunden haben.
- Je nach Lösungsweg finden Sie eine unterschiedliche Anzahl an Fehlern. Die 8 Zeilen für die Fehler haben keine Bedeutung.

Fehler		Was haben Sie gefunden?	Wie haben Sie es gefunden?
1 bis	Uhrzeit:		
8	Uhrzeit:		

Anhang D: Zeichnung

Name: _____ Datum: _____
Vorname: _____

Aufgabe:

Sie haben soeben eine pneumatische Schaltung bearbeitet. Wir möchten Sie nun bitten, diese Schaltung, so wie Sie sie im Kopf haben, auf diesem Blatt aufzuzeichnen. Es geht nicht darum, dass Sie die Zeichnung mit den richtigen Symbolen anfertigen.

Bitte versuchen Sie sich zu erinnern, wie die Schaltung „in Ihrem Kopf“ ausgesehen hat. Es gibt keine richtige oder falsche Zeichnung.

Sollten Sie zuwenig Platz haben, holen Sie sich bitte ein zweites Blatt.

Anhang E: Beobachtungsprotokoll für die praktische Fehlersuche

Datum: _____
 Name: _____ Vorname: _____

Ort	Zeit	Was tut der Schüler?
Aufgabenanfang		
Aufgabenmitte (erster Fehler)		
Aufgabende (funktionsfähige Schaltung)		

Videoabschnitte (eingblendete Zeit!)	Von : :	Bis : :

Anhang F: Symbolbasierte Fehlersuche

Name: _____ Datum: _____
 Vorname: _____

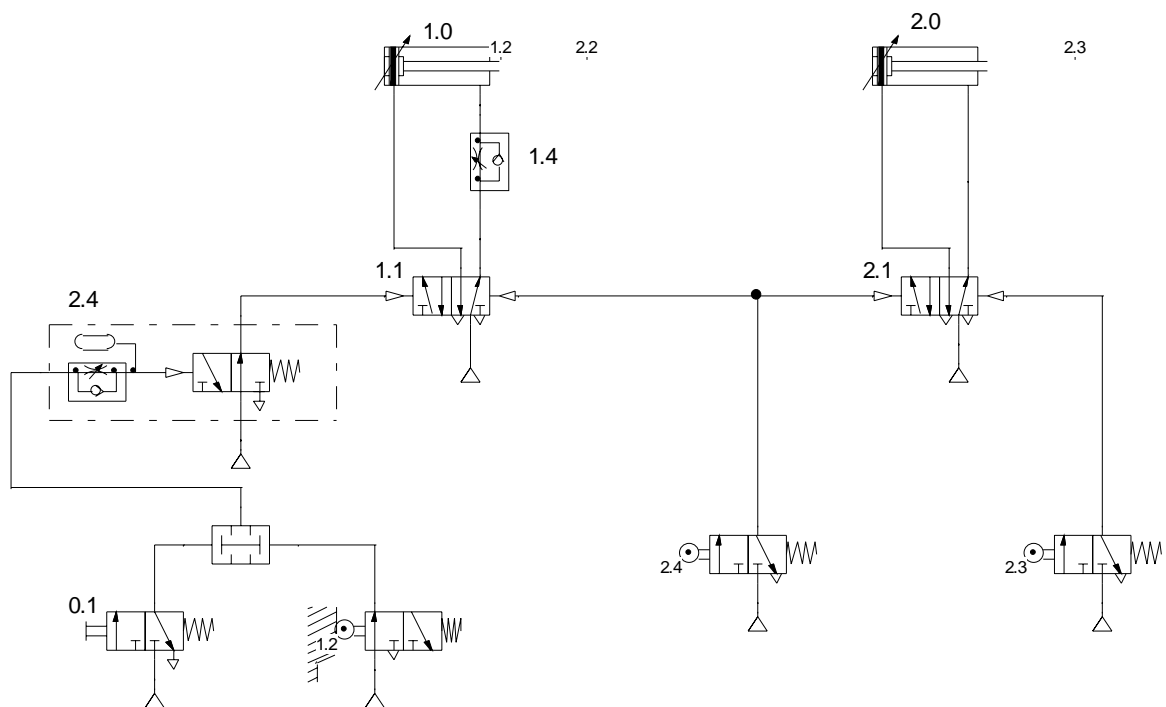
Funktionsweise der Schaltung:

- Ist der Zylinder 1.0 eingefahren und wurde der Startknopf längere Zeit gedrückt (einstellbare Wartezeit), fährt Zylinder 1.0 langsam aus.
- Ist der Zylinder 1.0 ausgefahren, fährt der Zylinder 2.0 schnell aus.
- Wenn Zylinder 2.0 ausgefahren ist, sollen beide Zylinder gleichzeitig wieder schnell einfahren.

Aufgabenstellung:

Finden Sie die Fehler (z. B. Bauteile, Verknüpfungen, Bezeichnungen) in der gegebenen Schaltung und schreiben Sie die Korrekturen als Text auf die nächste Seite.

Sie haben mindestens 15 Minuten Zeit.



[illegible]

Anhang H: Konstruktionsaufgabe

Name: _____ Datum: _____
 Vorname: _____

Aufgabenstellung:

Es sollen Maschinenteile mit Hilfe einer Zange (1.0) und eines Positionszyinders (2.0) auf ein Förderband gezogen werden.

Ausgangslage:

Die Zange ist geöffnet.

Zylinders 1.0 ist eingefahren.

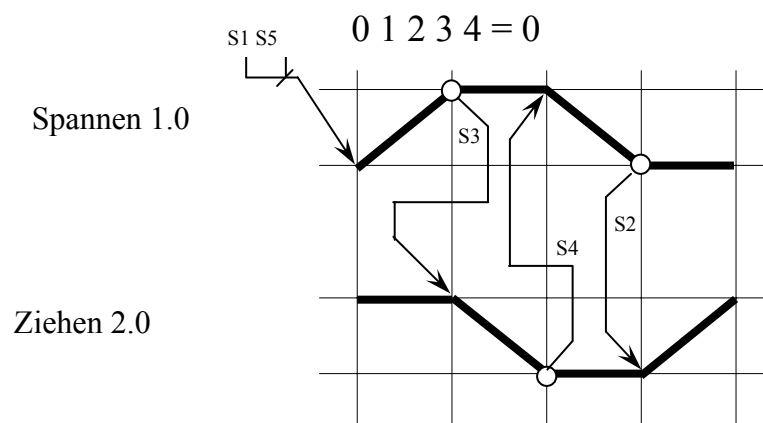
Positionszyylinder 2.0 ist ausgefahren.

Schritt 0: Die Zange spannt das Teil durch Ausfahren des Zylinders 1.0, wenn der Positionszyylinder 2.0 ausgefahren ist und der Startknopf betätigt wird.

Schritt 1: Ist die Zange geschlossen, wird sie gemeinsam mit dem eingespannten Teil über dem Förderband positioniert, indem der Zylinder 2.0 langsam einfährt.

Schritt 2: Ist der Positionszyylinder 2.0 eingefahren, öffnet sich die Zange durch Einfahren des Zylinders 1.0.

Schritt 3: Ist die Zange 1.0 geöffnet, fährt der Positionszyylinder 2.0 wieder schnell aus und ein neuer Zyklus kann beginnen.

Weg-Schritt-Diagramm:

Name: _____ Datum: _____
Vorname: _____

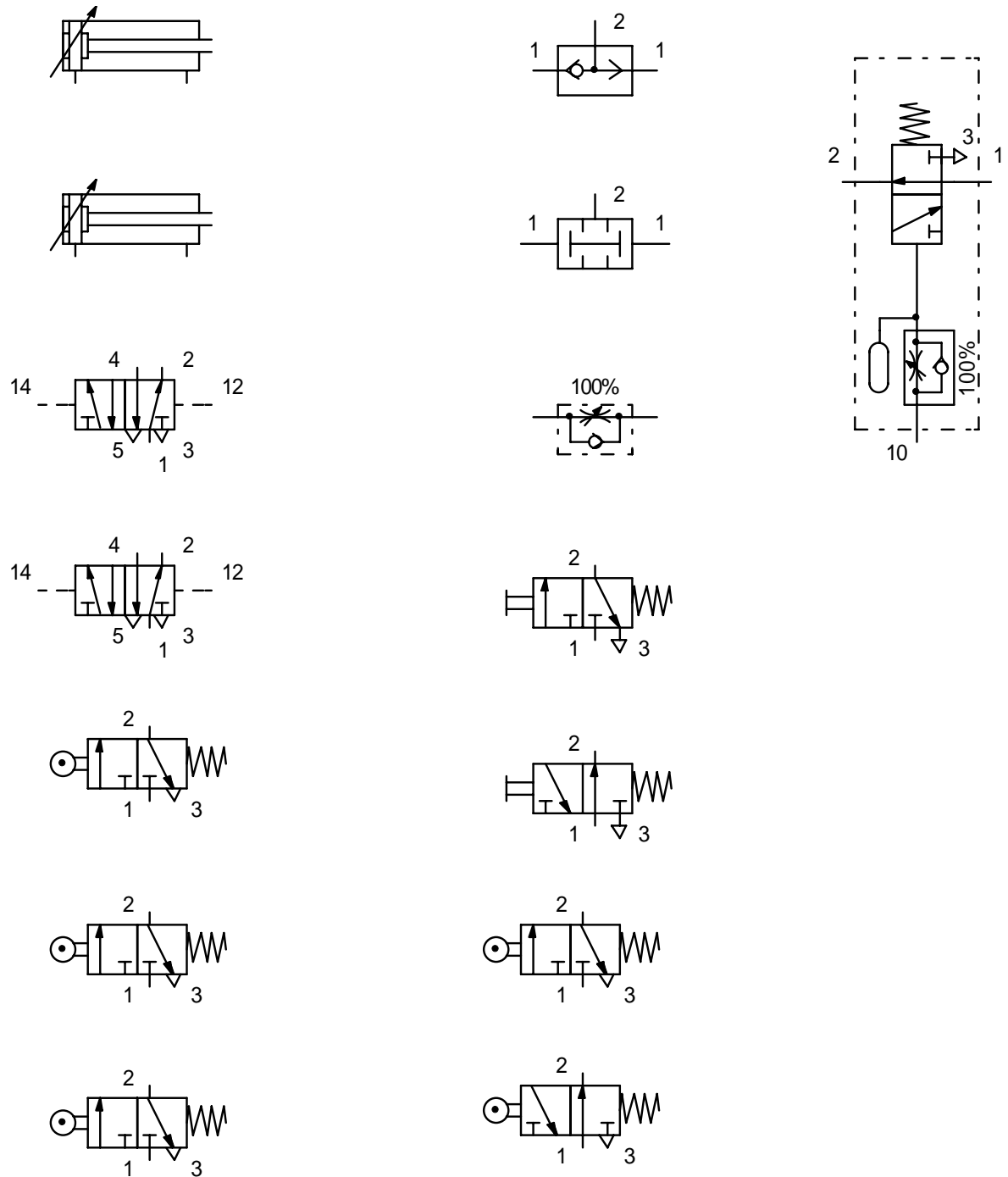
Aufgabe:

Konstruieren Sie einen pneumatischen Schaltplan für zwei Zylinder mit dem Ihnen zur Verfügung stehenden Material.

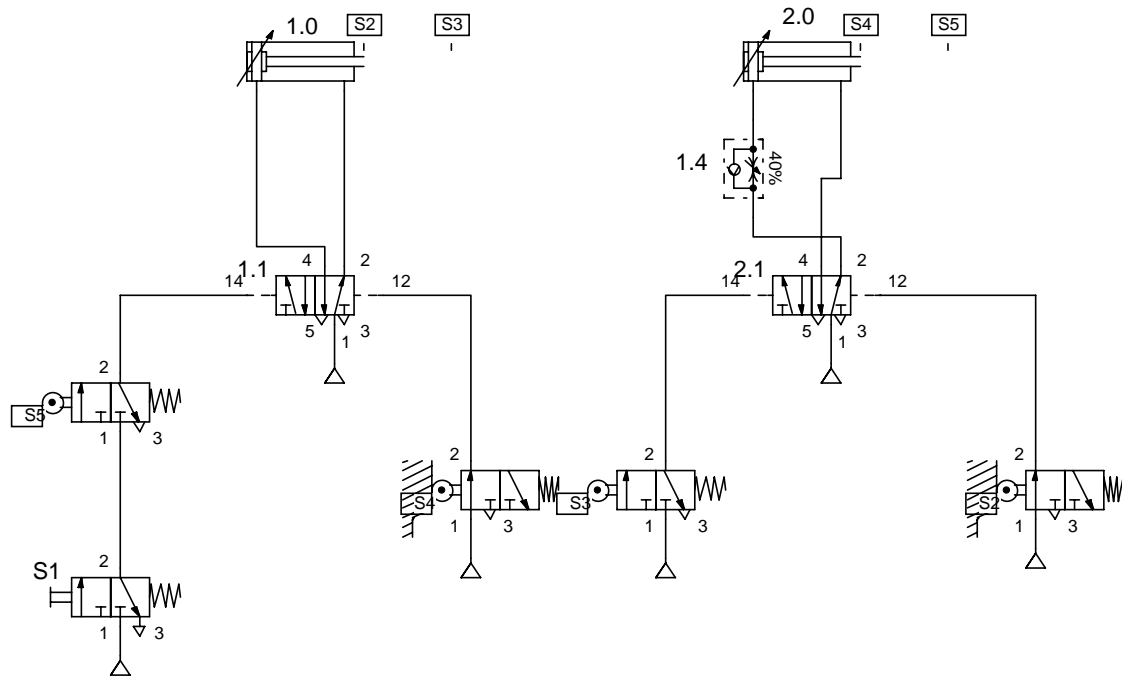
Wählen Sie die notwendigen Symbole aus dem Briefumschlag. Kleben Sie die Symbole auf das Arbeitsblatt und zeichnen Sie die Verbindungen der Symbole mit einem Stift ein.

Konstruieren Sie den Schaltplan auf diesem Arbeitsblatt:

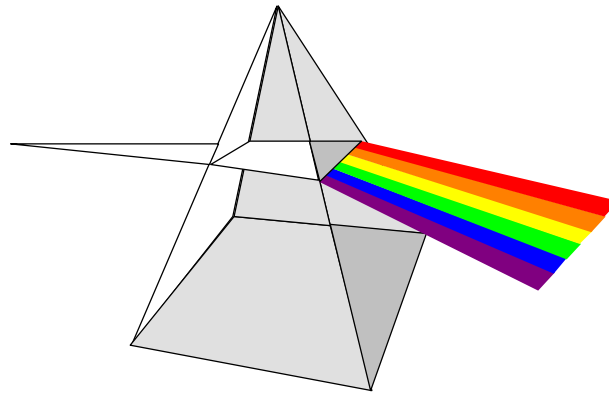
Anhang I: Arbeitsmaterial für die Konstruktionsaufgabe



Anhang J: Lösung der Konstruktionsaufgabe



Anhang K: Vortest



ifap

Institut für Arbeitspsychologie
Prof. Dr. G. Grote und
lic. phil. Sven Grund
Nelkenstr. 11
CH - 8092 Zürich

Datum: _____

Name: _____

Vorname: _____

Alter: _____

Geschlecht: w ☐ m ☐**MTP**

Auf den nächsten Seiten finden Sie 26 Aufgaben in Form von physikalisch-technischen Zeichnungen, die zum Teil praktische, zum Teil theoretische Probleme ansprechen.

Bearbeiten Sie die Aufgaben zunächst in der Reihenfolge ihrer Nummerierungen. Fällt Ihnen einmal eine Aufgabe besonders schwer, so halten Sie sich nicht zu lange bei ihr auf. Lassen Sie die Lösungen offen, und gehen Sie zur nächsten Aufgabe über.

Auf keinen Fall dürfen Sie blind raten. Ratefehler verschlechtern das Ergebnis.

Es wird nicht erwartet, dass Sie alle Aufgaben lösen können; seien Sie deshalb unbesorgt, wenn einige ungelöst bleiben.

Zur Bearbeitung des gesamten Aufgabenheftes haben Sie 25 Minuten Zeit.

Schauen Sie sich bitte jede Zeichnung mit der dazugehörigen Frage **genau** an; Sie vermeiden dadurch Missverständnisse.

Wird bei Aufgaben nicht ausdrücklich auf physikalische oder technische Bedingungen hingewiesen (z. B. Temperatur, Geschwindigkeiten, Windverhältnisse, Strömungsrichtungen usw.), so sind diese für die Aufgabenlösung unwichtig.

Beispiel 1

**B1.**

Welche beiden Zahnräder drehen sich in der gleichen Richtung wie das Zahnrad x?

A: G und K

D: H und J

B: G und J

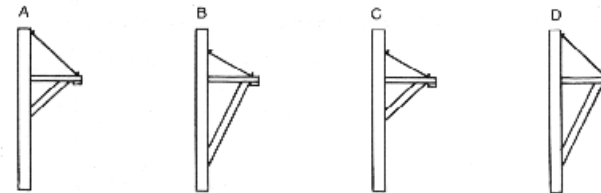
E: keine von diesen

C: H und K

Der richtige Lösungsbuchstabe ist A.



Beispiel 2

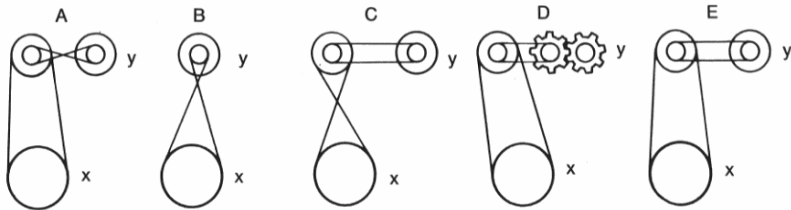
**B2.**

Welches Brett könnte das schwerste Gewicht tragen?

Besteht kein Unterschied, so markieren Sie E.

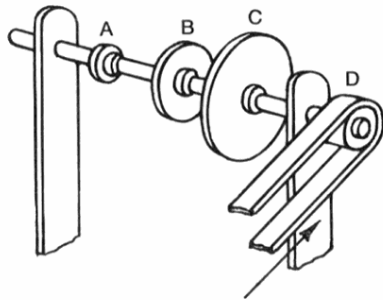
Der richtige Lösungsbuchstabe ist D.





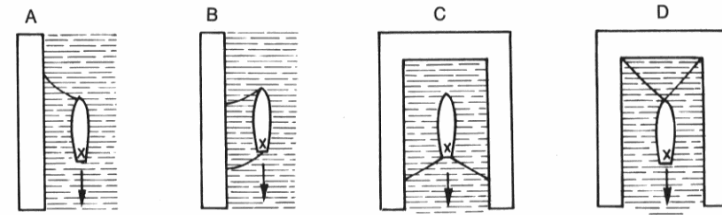
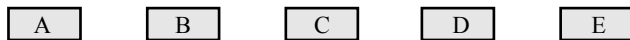
MTP 1.

Auf welchem Bild drehen sich die Räder x und y in der gleichen Richtung?



MTP 3.

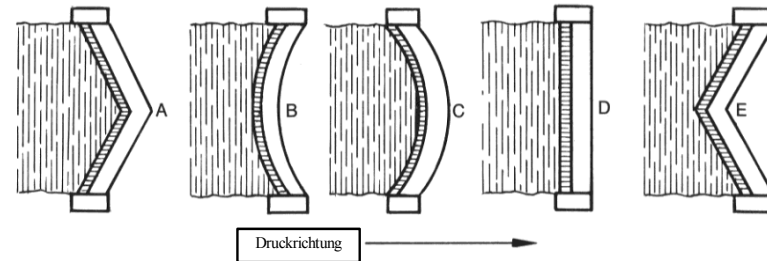
Welches Rad macht die meisten Umdrehungen pro Minute?
Besteht kein Unterschied, so markieren Sie E.



MTP 2.

Sie stehen auf dem Boot an Punkt x und wollen von dort in Pfeilrichtung einen Kopfsprung ins Wasser machen. Von welchem Boot können Sie am ehesten Springen?

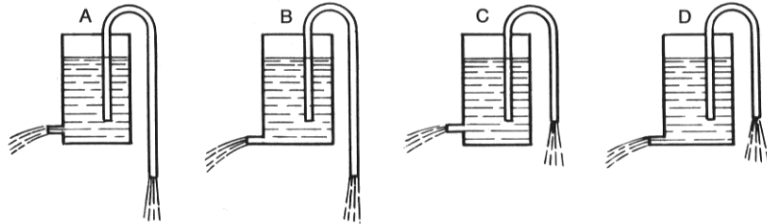
Besteht kein Unterschied, so markieren Sie E.



MTP 4.

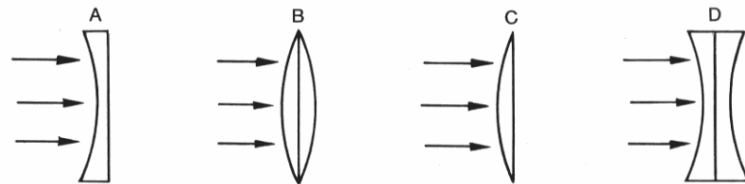
Welcher Damm kann den grössten Wasserdruck aushalten?



**MTP 5.**

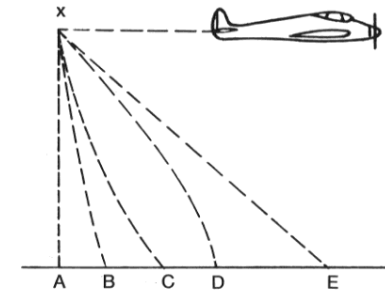
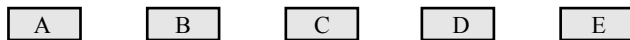
Welcher Behälter wird zuerst leer sein?

Besteht kein Unterschied, so markieren Sie E.

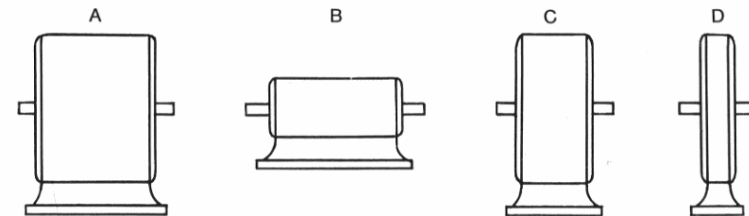
**MTP 7.**

Mit welcher Linse kann man am schnellsten ein Feuer entfachen?

Besteht kein Unterschied, so markieren Sie E.

**MTP 6.**

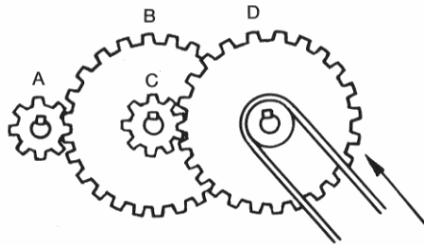
Welcher Flugbahn würde ein Briefsack folgen, der bei x abgeworfen wird?

**MTP 8.**

Welcher der vier Elektromotoren kann am schnellsten seine Drehrichtung umkehren?

Besteht kein Unterschied, so markieren Sie E?





MTP 9.

Welches Zahnrad dreht sich am langsamsten?
Besteht kein Unterschied, so markieren Sie E.

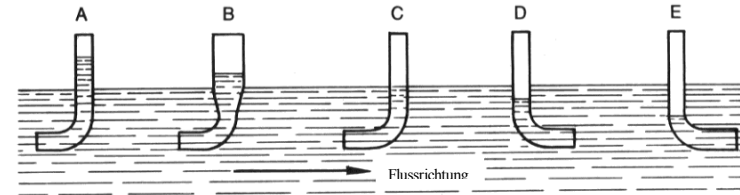
A

B

C

D

E



MTP 10.

Welches Bild zeigt eine physikalische Unmöglichkeit?

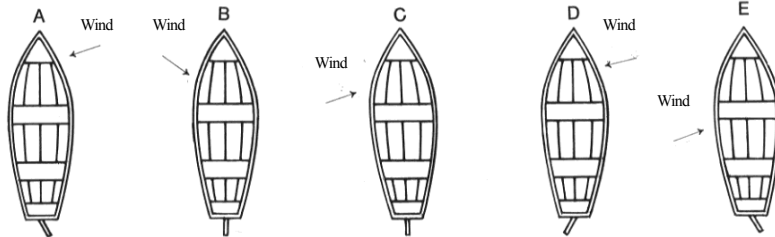
A

B

C

D

E



MTP 11.

Welches Boot wird bei der angegebenen Windrichtung am besten einen geraden Kurs einhalten können?

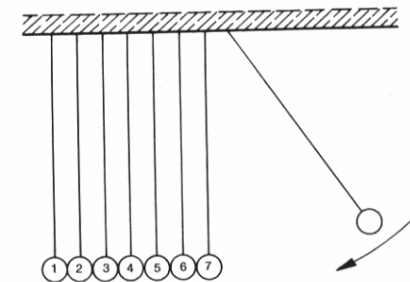
A

B

C

D

E



MTP 12.

Welche Kugel bewegt sich nach dem Stoß nach links?

- A: alle 7 Kugeln D: nur Kugel 1 und 2
B: nur Kugel 1 bis 6 E: keine Kugel
C: nur Kugel 1

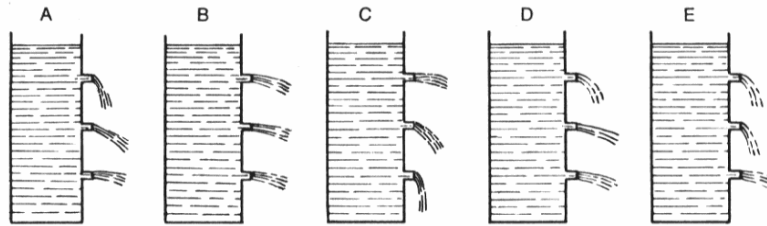
A

B

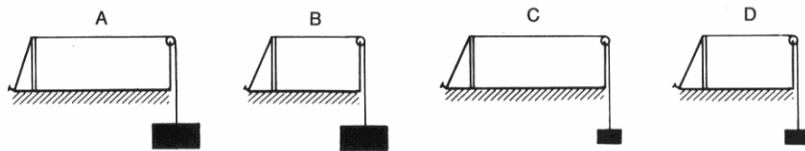
C

D

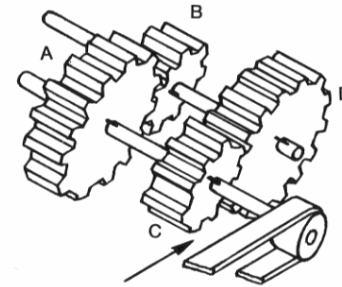
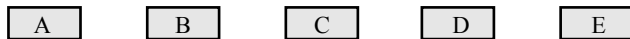
E

**MTP 13.**

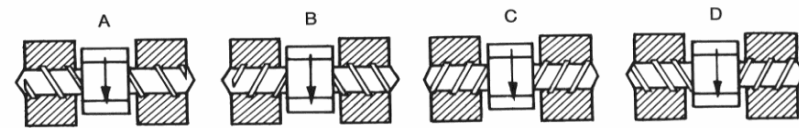
Welche Zeichnung zeigt das Ausfließen des Wassers am richtigsten?

**MTP 15.**

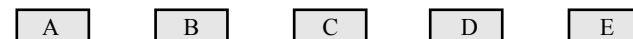
Welche Tonsaite erzeugt den tiefsten Ton, wenn man sie anzupft?
Besteht kein Unterschied, so markieren Sie E.

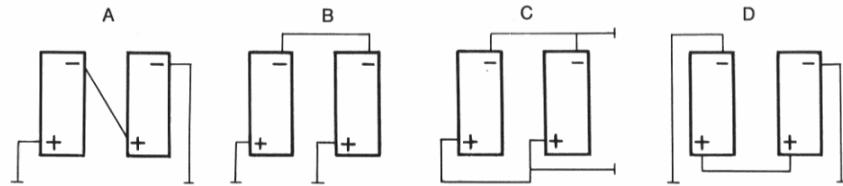
**MTP 14.**

Welches Zahnrad macht die meisten Umdrehungen pro Minute?
Wenn die Zahnräder sich nicht drehen können, so markieren Sie E.

**MTP 16.**

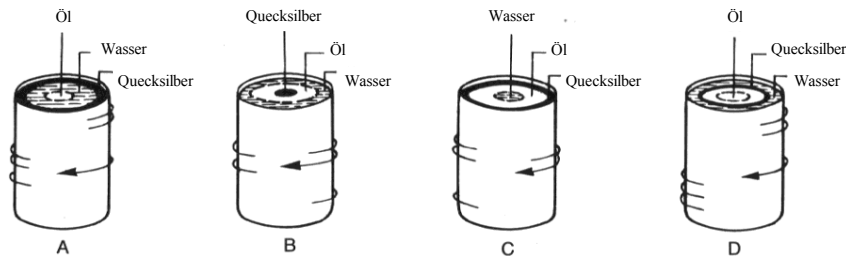
In welchem Bild werden die Blöcke näher zusammengedrückt, wenn die Gewindebolzen in der angegebenen Richtung gedreht werden?



**MTP 17.**

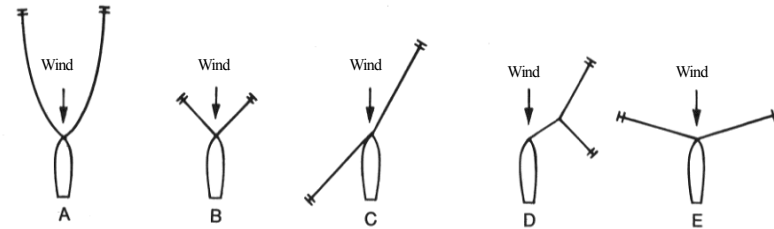
Wie muss man zwei 6-Volt-Batterien zusammenschliessen, um 12 Volt zu erhalten?

Ist keine der Möglichkeiten richtig, so markieren Sie E.

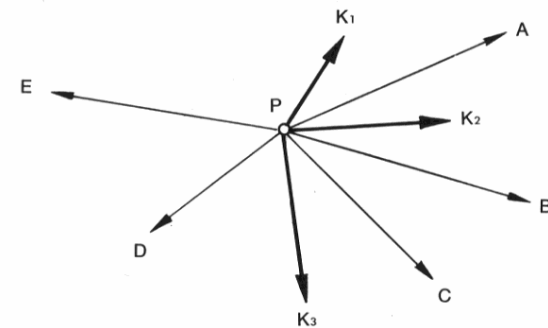
☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E
**MTP 19.**

Welches Bild zeigt die Lage der drei Flüssigkeiten in einer rotierenden Trommel am richtigsten?

Falls es unmöglich ist, die Lage der drei Flüssigkeiten anzugeben, so markieren Sie E.

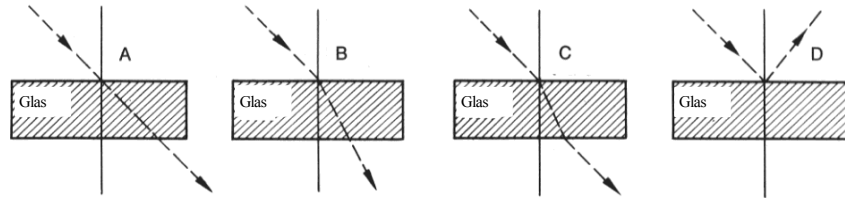
☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E
**MTP 18.**

Welches Schiff läuft am wenigsten Gefahr, bei starkem Wind seine Anker loszureissen?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E
**MTP 20.**

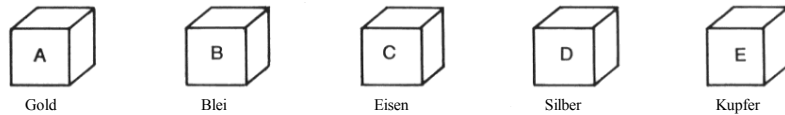
Welche Kraft resultiert, wenn die drei Kräfte K1, K2, K3 in Punkt P angreifen?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

**MTP 21.**

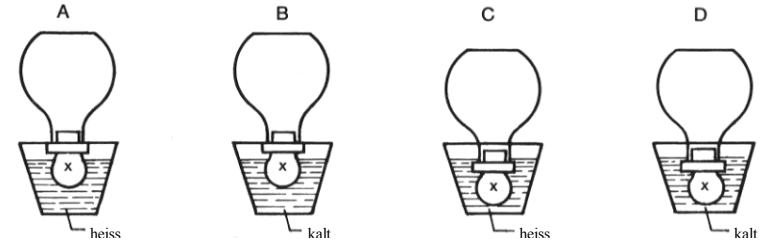
Wie verhält sich der aus der Luft an eine Glasplatte kommende Lichtstrahl?
Ist keine der Möglichkeiten richtig, so markieren Sie E.

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

**MTP 23.**

Welcher Metallwürfel wiegt am wenigsten?

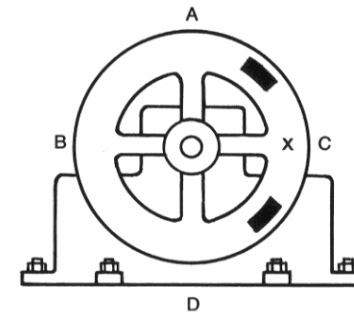
☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

**MTP 22.**

Auf welche Art löst man den feststeckenden Glasstopfen x am besten aus der Flasche?

Besteht kein Unterschied, so markieren Sie E.

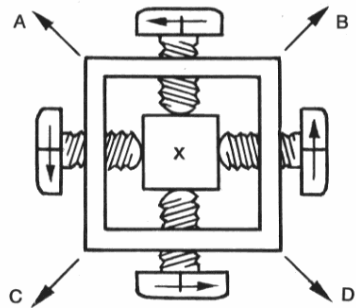
☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

**MTP 24.**

Dieses Schwungrad ist mit den beiden schwarzen Gegengewichten ausgewuchtet worden.

An welchem Punkt kommt x zum Stillstand, wenn man das Schwungrad langsam auslaufen lässt?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

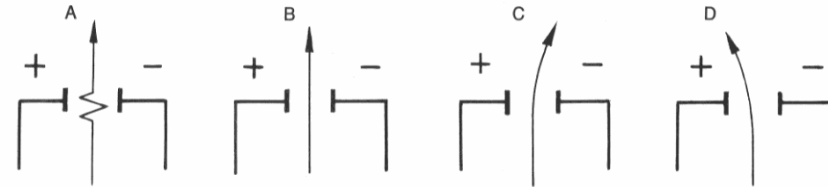


MTP 25.

Wenn alle Schrauben gleichzeitig in den angegebenen Richtungen gedreht werden, wohin wird sich dann der Block x bewegen?

- A: gegen A D: gegen D
 B: gegen B E: überhaupt nicht
 C: gegen C

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E



MTP 26.

Durch das elektrische Feld eines Plattenkondensators soll ein Elektron geschossen werden.

Welche Bahn beschreibt das Elektron?

Ist ein Durchgang des Elektrons nicht möglich, so markieren Sie E.

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Räumliches Vorstellungsvermögen

Auf **jedem einzelnen** Würfel befinden sich **sechs verschiedene** Muster; drei davon kann man sehen. **Prüfen** Sie anhand der Muster, ob einer der Würfel A bis F der gleiche Würfel **sein kann**, wie der links abgebildete Würfel x, oder ob die Antwort G - „kein Würfel richtig“ - zutreffend ist.

Sie können sich dabei vorstellen, dass der Würfel X einmal oder mehrmals gedreht beziehungsweise gekippt wurde; somit kann auch ein neues, bisher verborgenes Muster sichtbar werden.

Für jede Aufgabe gibt es nur eine richtige Antwortmöglichkeit: A bis G. Sollten Sie diesen nicht finden, dann wählen Sie Antwort H - „ich weiss die Lösung nicht“.

Nun zu Beispiel 1: Würfel B ist die Lösung, daher ist auf der **Skala** der Buchstabe B mit einem Kreuz markiert.

Alle anderen Würfel sind falsch. Bitte überprüfen Sie jetzt dieses Beispiel.

Nun zu Beispiel 2: Die richtige Antwort D ist wieder auf der Skala angekreuzt. In diesem Beispiel ist der Würfel so gedreht worden, dass auf dem Lösungswürfel ein neues Muster zu sehen ist.

Wenn Sie jetzt das Beispiel überprüfen, denken Sie daran, dass ein **bestimmtes** Muster **pro Würfel** nur **einmal** vorkommen darf.

Markieren Sie jede Aufgabe mit einem **Kreuz**. Fehler korrigieren Sie, indem Sie die falsche Markierung durchstreichen

und einen anderen Buchstaben ankreuzen.

Für die Bearbeitung dieses Tests haben Sie ausreichend Zeit zur Verfügung. Sie sollten ruhig und konzentriert, aber auch zügig arbeiten.

Lassen Sie keine Aufgabe aus, und halten Sie die vorgegebene Reihenfolge ein.

Beispiel 1



X



A



B



C



D



E



F



G



H

A

☒ B

C

D

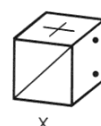
E

F

G

H

Beispiel 2



X



A



B



C



D



E



F



G



H

A

B

C

D

☒ E

F

G

H

1



X



A



B



C



D



E



F



G



H

A B C D E F G H

3



X



A



B



C



D



E



F



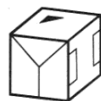
G



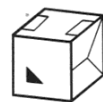
H

A B C D E F G H

2



X



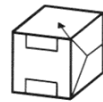
A



B



C



D



E



F



G



H

A B C D E F G H

4



X



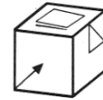
A



B



C



D



E



F



G



H

A B C D E F G H

5



X



A



B



C



D



E



F



G



H

A B C D E F G H

7



X



A



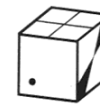
B



C



D



E



F



G



H

A B C D E F G H

6



X



A



B



C



D



E



F



G



H

A B C D E F G H

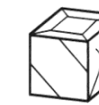
8



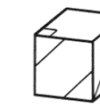
X



A



B



C



D



E



F



G



H

A B C D E F G H

Logisches Denken I

Sie sehen in der obersten Zeile lauter Kreise.
Hier wurde ein Kreis durchgestrichen.
Er ist zu klein und passt daher nicht zu den übrigen Kreisen.

In der zweiten Zeile wurde das letzte Zeichen durchgestrichen, denn dort müsste eigentlich ein Kreuz stehen, damit die Zeile regelmässig gebildet ist, nämlich: Strich, Kreuz, Kreuz usw.

Es soll also in jeder Zeile das Zeichen durchgestrichen werden, welches am wenigsten zu den anderen passt.
Hier ist immer nur ein Zeichen falsch - und das müssen Sie durchstreichen.

Wer mehr durchstreicht oder etwas hinzuzeichnet, hat die Aufgabe nicht gelöst.

Die Zeichen sind immer in einer bestimmten Reihenfolge ausgeführt (z. B. Strich, Kreuz, Strich, Kreuz usw.). Die Reihenfolge oder Ordnung müssen Sie herausfinden.

Dann wissen Sie auch, welches Zeichen nicht in die Zeile hineinpasst und durchgestrichen werden muss.

Am Anfang sind die Aufgaben sehr einfach, es wird dann immer schwieriger. Auch wenn alle Zeichen verschieden aussehen, stets passt eins am wenigsten in die Zeile.

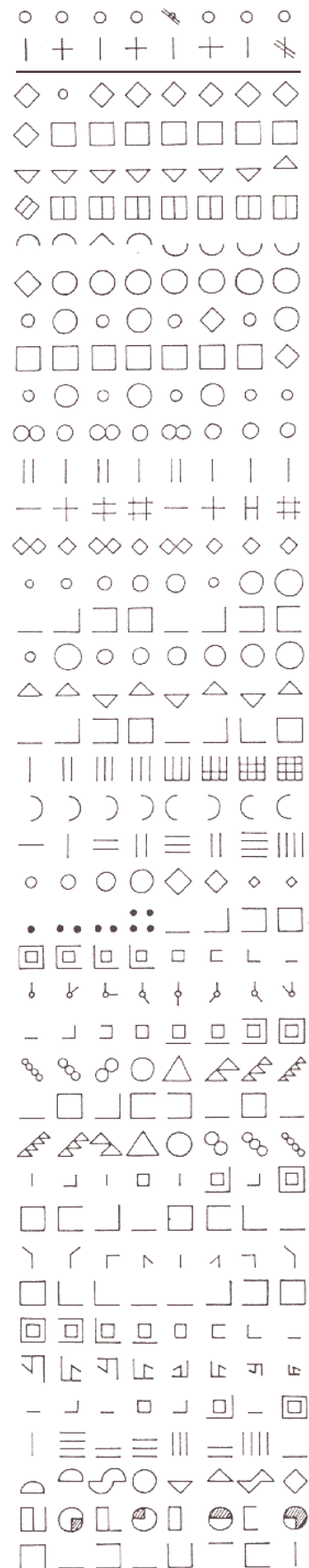
Haben Sie noch Fragen?

Verbessern können Sie, indem Sie aus dem Schrägstrich ein Kreuz machen und die richtige Lösung mit einem Schrägstrich kennzeichnen.

Halten Sie sich nicht zu lange an einer Aufgabe auf, wenn Sie sie nicht lösen können, sondern gehen Sie dann zur nächsten Zeile weiter.

Sie haben 5 Minuten Zeit.

Bitte beginnen!



Logisches Denken II

Sie sehen in der obersten Zeile, dass die 3 durchgestrichen worden ist. Die 3 ist ein Druckfehler. Sie passt nicht in diese Reihe.

In der zweiten Zeile wurde das zweitletzte „a“ durchgestrichen. Auch dieses „a“ passt nicht in die Reihe. Eigentlich müsste dort ein „b“ stehen, damit die Zeile regelmässig aufgebaut ist:
a b a b a d...und so fort.

In jeder Zeile ist ein Druckfehler. Nur haben wir es jetzt nicht mit Zeichen, sondern mit Buchstaben und Zahlen zu tun.

Manchmal sind Buchstabengruppen, dann wieder Zahlen in einer Reihe vorhanden. Um die richtige Reihenfolge der einzelnen Buchstaben und Zahlen in einer Reihe herauszufinden, müssen Sie zählen können und das Alphabet kennen.

Als Hilfe finden Sie ganz unten das Alphabet abgedruckt: a, b, c und so weiter. Sehen Sie es?

Sie müssen also herausfinden, welche Zahl oder welcher Buchstabe nicht in die Ordnung der Zeile passt. Nur 1 Buchstabe oder 1 Zahl ist falsch.

Halten Sie sich auch hier nicht zu lange bei einer Aufgabe auf.

Haben Sie noch Fragen?

So, fangen Sie jetzt an.

Sie haben 8 Minuten Zeit.

Bitte beginnen!

```

2 2 2 2 2 3 2 2 2
a b a b a b a a
-----
X X X X X X X O X
1 2 1 2 1 1 1 2 1
1 2 3 1 2 3 2 2 3
a B a B a B a b a
12 11 10 9 9 7 6 5 4
a b c d e f c h i
a b a b a b a b b
bb b bb b bb b bb b b
4 6 8 10 11 14 16 18 20
a b c a b c d b c
o v v o v v o o v
19 17 15 13 11 8 7 5 3
10 4 20 4 30 4 40 5 50
3 4 9 12 15 18 21 24 27
B B a B a B a B a
j k l m n o p q s
x x o x x o x o o
b c d E f g h i j
i h G f e d c b a
r s t u v W x y z
1 3 4 5 6 7 8 9 10
a bb c dd ee ff g hh i
10 12 8 14 6 16 3 18 2
d c e d c b d c b
1 2 3 4 5 6 3 2 1
a c a d a e a f g
2 5 3 4 4 3 5 2 1
1 2 4 7 8 7 4 2 1
1 f g 2 d c 3 b a
a 4 c 3 d 2 e 1 f
Q o M j I g E c A
aa c ee f ii kmm o qq
a b e g i k m o q
1 1 2 4 3 9 4 16 6
a b c c a d a e a
1 1 2 3 7 11 16 22 29
a b c b d b e b f
a A b C d E g G h
b a e d h g k l n
1 2 2 3 3 4 5 5 6
-----
a b c d e f g h i j k l m
n o p q r s t u v w x y z

```

